



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

MĚŘENÍ PARAMETRŮ LED STMÍVATELNÝCH ZDROJŮ

MEASURING OF PARAMETERS DIMMABLE LED SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Kubeša

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2016

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Radek Kubeša

Ročník: 3

ID: 164752

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Měření parametrů LED stmívatelných zdrojů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zdokumentování stavu techniky v oblasti stmívatelných LED zdrojů.
2. Principy regulace LED zdrojů.
3. Měření a vyhodnocení provozních parametrů vzorků LED zdrojů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:


podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8. 2. 2016

Termín odevzdání: 24. 5. 2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou LED stmívatelných světelných zdrojů. Teoretická část se ze začátku věnuje světlu a základním fotometrickým veličinám, rozebírá zdroje světla a jejich parametry. Dále popisuje princip funkce LED diody, konstrukci, napájení a regulaci jasu LED světelných zdrojů. Praktická část je zaměřená na měření a vyhodnocení provozních parametrů vybraných vzorků LED světelných zdrojů.

KLÍČOVÉ SLOVA: LED, stmívatelné, P-N přechod, světelný tok, měrný výkon, provozní parametry, V-A charakteristiky, křížové charakteristiky, regulace jasu

Abstrakt

The bachelor thesis deals with the dimmable LED light sources. The theoretical part at the beginning is devoted to the light and the basic photometric quantities, analyzes the light sources and their parameters. It also describes the operating principle of LEDs, construction, power, and control the brightness of LED light sources. The practical part is focused on the measurement and evaluation of operating parameters selected samples of LED light sources.

KEY WORDS: LED, dimmable, P-N junction, luminous flux, luminous efficacy, operating parameters, V-A characteristics, cross characteristics, brightness control

KUBEŠA, R. *Měření parametrů LED stmívatelných zdrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 55 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing.Petr Baxant, Ph.D.

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval doc. Ing.Petru Baxantovi, Ph.D za pomoc a rady při tvorbě bakalářské práce, dále Ing. Jaroslavu Štěpánkovi za pomoc při realizaci laboratorního měření a firmám Osram a ABB za poskytnutí LED světelných zdrojů a stmívače pro laboratorní měření.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD	12
2 SVĚTLO A ZÁKLADNÍ FOTOMETRICKÉ VELIČINY	13
2.1 SVĚTLO.....	13
2.2 FOTOMETRICKÉ VELIČINY.....	13
2.2.1 SVĚTELNÝ TOK	13
2.2.2 PROSTOROVÝ ÚHEL.....	14
2.2.3 SVÍTIVOST	14
2.2.4 INTENZITA OSVĚTLENÍ – OSVĚTLENOST	15
2.2.5 JAS	16
3 SVĚTELNÉ ZDROJE A JEJICH PARAMETRY	17
3.1 SVĚTELNÉ ZDROJE-ROZDĚLENÍ.....	17
3.1.1 TEPLITNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE.....	17
3.1.2 VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE	17
3.1.3 LED SVĚTELNÉ ZDROJE	17
3.2 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ.....	18
3.2.1 MĚRNÝ SVĚTELNÝ VÝKON	18
3.2.2 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI	18
3.2.3 INDEX PODÁNÍ BAREV RA	18
3.2.4 ŽIVOTNOST SVĚTELNÉHO ZDROJE	19
3.2.5 JMENOVITÉ NAPĚTÍ A PŘÍKON	19
4 LED DIODA	20
4.1 P-N PŘECHOD.....	20
4.2 KONSTRUKCE LED.....	21
4.2.1 TYP KONSTRUKCE LED	21
4.2.2 CHLAZENÍ LED.....	22
4.2.3 TYPY PATIC PRO LED ŽÁROVKY A BODOVKY	23
4.3 NAPÁJENÍ LED	24
4.3.1 NAPÁJENÍ ZE STEJNOSMĚRNÉHO ZDROJE.....	24
4.3.2 NAPÁJENÍ ZE STŘÍDAVÉHO ZDROJE.....	25
4.4 REGULACE JASU LED	26
4.4.1 ZMĚNA AMPLITUDY PROUDU	26
4.4.2 PULZNÍ ŠÍŘKOVÁ MODULACE.....	27
4.4.3 FÁZOVÁ REGULACE	27
4.5 DIGITÁLNÍ ŘÍDICÍ SYSTÉMY	28
4.5.1 ROZHRANÍ DSI.....	28
4.5.2 ROZHRANÍ DALI.....	28

4.5.3 PROTOKOL DMX 512	29
4.6 VÝHODY A NEVÝHODY LED	30
4.7 TECHNICKÉ PARAMETRY LED ZDROJŮ	31
4.7.1 TECHNICKÉ PARAMETRY UDÁVANÉ VÝROBCI	31
5 LABORATORNÍ MĚŘENÍ	31
5.1 MOŽNOSTI MĚŘENÍ	31
5.1.1 PROVOZNÍ VLASTNOSTI SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	31
5.1.2 MĚŘENÍ KŘIVEK SVÍTIVOSTI	32
5.2 LABORATOŘ SVĚTELNÉ TECHNIKY UČEN	33
5.3 MĚŘÍCÍ SESTAVA	33
5.4 VLASTNÍ MĚŘENÍ	36
5.4.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ	36
5.4.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY	37
6 ZÁVĚR	51
POUŽITÁ LITERATURA	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Vymezení prostorového úhlu – převzato z [1]</i>	14
<i>Obrázek 2 :Schéma k výkladu o fotometrických veličinách – převzato z [3]</i>	15
<i>Obrázek 3: Definice jasu – převzato z [1]</i>	16
<i>Obrázek 4: Rozdělení zdrojů světla – převzato z [7]</i>	17
<i>Obrázek 5: Tupnice teploty chromatičnosti převzato z – [10]</i>	18
<i>Obrázek 6: Vliv Ra zdroje na podání barev – převzato z [11]</i>	19
<i>Obrázek 7: Schematická značka LED – převzato z [12]</i>	20
<i>Obrázek 8: Zapojení P-N přechodu – převzato z [14]</i>	21
<i>Obrázek 9: Konstrukce DIP LED - převzato z[17]</i>	21
<i>Obrázek 10: Konstrukce SMD LED - převzato z[17]</i>	22
<i>Obrázek 11: Konstrukce COB LED - převzato z[17]</i>	22
<i>Obrázek 12:Konstrukce MCOB LED - převzato z[17]</i>	22
<i>Obrázek 13: Základní typy patic - převzato z[20]</i>	23
<i>Obrázek 14: Proudové napájení LED - převzato z [28]</i>	24
<i>Obrázek 15: Napěťové napájení LED - převzato z[28]</i>	25
<i>Obrázek 16: Schéma zapojení AC/DC měniče[35]</i>	25
<i>Obrázek 17:Blokové schéma zapojení AC/DC měniče[35]</i>	25
<i>Obrázek 18:Schéma zapojení LED pro napájení z AC zdroje[36]</i>	26
<i>Obrázek 19: zapojení potenciometru pro zdroj konstantního napětí</i>	27
<i>Obrázek 20: PWM signál se střídou 25%[38]</i>	27
<i>Obrázek 21: Fázové řízení pomocí triaku[39]</i>	28
<i>Obrázek 22:schéma zapojení elektrických předřadníků s rozhraním DSI[1]</i>	28
<i>Obrázek 23Princip rozhraní DALI[27]</i>	29
<i>Obrázek 24: Časování protokolu DMX 512[40]</i>	30
<i>Obrázek 25: Ukázka programu AvaSoft[34]</i>	33
<i>Obrázek 26: Vnitřní uspořádání kulového integrátoru[31]</i>	35
<i>Obrázek 27: Schéma zapojení</i>	36
<i>Obrázek 28:LED Superstar classic A 60 Advanced</i>	37
<i>Obrázek 29:V-A charakteristika LED světelného zdroje při regulaci jasu LED Superstar classic A 60 Advanced</i>	38
<i>Obrázek 30: Křížové charakteristiky pro LED Superstar classic A 60 Advanced</i>	38
<i>Obrázek 31: LED Parathom classic B40Advanced</i>	39

<i>Obrázek 32: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom classic B40 Advanced</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 33: Křížové charakteristiky pro LED Parathom classic B40 Advanced</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 34: LED Parathom classic P40 Advanced</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 35: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom classic P40 Advanced</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 36: Křížové charakteristiky pro LED Parathom classic P40 Advanced</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 37: LED Parathom classic P 40 Advanced frosted</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 38: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom classic P 40 Advanced frosted</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 39: Křížové charakteristiky pro LED Parathom classic P 40 Advanced frosted</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 40: LED Parathom PAR16 50 36°</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 41: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom PAR16 50 36°</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 42: Křížové charakteristiky pro LED Parathom PAR16 50 36°</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 43: LED Parathom PRO PAR16 35 36°</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 44: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom PRO PAR16 35 36°</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 45: Křížové charakteristiky pro LED Parathom PRO PAR16 35 36°</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 46: LED Nanoleaf</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 47: Křížové charakteristiky pro Nanoleaf</i>	<i>50</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Oblasti elektromagnetického záření – převzato z [6]</i>	13
<i>Tabulka 2: Tepelná vodivost materiálů pro LED - převzato z [18]</i>	22
<i>Tabulka 3: Parametry LED zdrojů různých výrobců - převzato z [26]</i>	31
<i>Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro LED Superstar classic A 60 Advanced</i>	37
<i>Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro LED Parathom classic B40 Advanced</i>	39
<i>Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro LED Parathom classic P40 Advanced</i>	41
<i>Tabulka 7: Naměřené hodnoty pro LED Parathom classic P 40 Advanced frosted</i>	43
<i>Tabulka 8: Naměřené hodnoty pro LED Parathom PAR16 50 36°</i>	45
<i>Tabulka 9: Naměřené hodnoty pro LED Parathom PRO PAR16 35 36°</i>	47
<i>Tabulka 10: Naměřené hodnoty pro Nanoleaf</i>	49

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam	Jednotka
COB	Chip on board- druh LED	
CRI	Color Rendition Index- index podání barev	
DALI Lighting Interface)	digitální adresovatelné osvětlovací rozhraní (Digital Addressable	
DSI	Digitální sériové rozhraní (digital seriál interface)	
DIP	Dual in-line Package- Pouzdro el. Součástek	
LED	Light emitted diode- světlo emitující dioda	
MCOB	Multi chip on board	
PVC	Polyvinylchlorid- plast	
PWM	Pulzně šířková modulace	
SMD	Surface Mounted Device -součástka pro povrchovou montáž	
Al	Hliník	
E	Intenzita osvětlení	[lx]
I	Svítivost	[cd]
k_i	konstanta kulového integrátoru	[lm/V]
L	Jas	[cd/m ²]
m_z	Měrný výkon	[lm/W]
P	Příkon zdroje	[W]
P	Fosfor	
r	poloměr	[mm]
S	plocha	[mm ²]
Si	Křemík	
T_c	Teplota chromatičnosti	[K]
λ	Vlnová délka elektromagnetického záření	[nm]
Φ	Světelný tok	[lm]
Ω	prostorový úhel	[sr]
β	obecný úhel	[°]
ρ	Činitel odrazu	[-]
η	účinnost	[%]

1 ÚVOD

Světelné diody zaznamenávají v posledním desetiletí velký rozvoj. Přesto, že jejich princip byl objeven už ve 20. letech minulého století začaly se používat až kolem roku 1962. Od uvedení na trh jsou stále vyvíjeny nové technologické postupy k dosažení dalších barev vyzařovaného světla, zvýšení měrného výkonu, zvýšení doby životnosti nebo zlepšení stability parametrů během svícení. Limitujícím faktorem zůstává cena polovodičových součástek. Další výhodou LED zdrojů je možnost stmívání s předřazeným stmívačem, což umožňuje nastavení intenzity světla podle potřeby. Stmívání nijak nezkracuje dobu života LED, a to ani její častá zapínání a vypínání, což také patří mezi její velké výhody.

Tato práce se zabývá měřením základních parametrů LED stmívatelných zdrojů. Začátek práce se věnuje základním fotometrickým veličinám (svítivost, světelný tok atd.), dále základním parametrům světelných zdrojů. V další části popisují princip LED zdrojů, jejich základní dělení a základními principy stmívání.


Na závěr proběhne několik laboratorních měření na stanovení parametrů LED světelných zdrojů a porovnání s údaji od výrobce

2 SVĚTLO A ZÁKLADNÍ FOTOMETRICKÉ VELIČINY

2.1 Světlo

Světlem označujeme elektromagnetické záření, je charakterizováno především frekvencí a vlnovou délkou. Spektrum elektromagnetického záření zahrnuje krom viditelného světla (λ 380–780 nm) kosmické záření, gama záření, rentgenové záření, optické záření, radiové a televizní vlny a střídavé síťové napětí. Viditelné světlo patří pod optické záření společně s ultrafialovým zářením a infračerveným zářením. Obě záření mají podobné fyzikální vlastnosti, ale lidské oko je není schopno vnímat. Zdroje světla můžeme rozlišit na přirozené a umělé. Přirozené světlo je denní světlo a je výsledkem elektromagnetického záření Slunce. Pro umělé světlo používáme elektrických světelných zdrojů. [1],[2]

Tabulka 1: Oblasti elektromagnetického záření – převzato z [6]

Elektromagnetické záření, vlnění	Vlnová délka λ	Použití, výskyt	Pozn.
Radiové vlny Dlouhé (DV) Střední (SV) Krátké (KV) Velmi krátké (VKV) Ultra krátké (UKV)	2 000 m – 1 000 m 600 m – 150 m 50 m – 15 m 15 m – 1 m 1 m – 0,1 m	Rozhlas, televize	Neionizující záření
Mikrovlny	0,1 m – 0,3 mm	mobilní telefony, GPS, WiMax, Wifi, mikrovlnné trouby, radar	
Infračervené záření	0,3mm – 750 nm	dálkové ovladače, noční vidění, tepelné záření	
Světlo červené oranžové žluté zelené modré fialové 	760 nm – 390 nm	Viditelné světlo	
Ultrafialové záření	390 nm – 10 nm	Opalování, solária, sterilizace	Ionizující záření
Rentgenové záření	10 nm – 1 pm	lékařská diagnostika, průmyslová diagnostika	
Záření gama	< 300 pm	ozařování nádorů, kosmické záření, jaderné reaktory	

2.2 Fotometrické veličiny

Veličiny, které popisují elektromagnetické záření viditelné lidským okem.

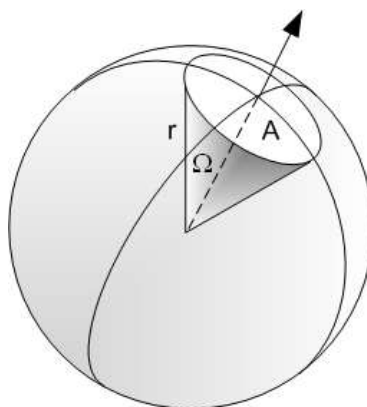
2.2.1 Světelný tok

Světelný tok (označujeme Φ) popisuje šíření světla prostorem. Označuje energii, kterou světelný zdroj vytvoří za 1 sekundu, proto je někdy označován jako světelný výkon. Jako jednotku světelného toku používáme lumen [lm]. 1 lumen můžeme definovat jako 1/683 wattů monochromatického záření s frekvencí $540 \cdot 10^{12}$ Hz.

2.2.2 Prostorový úhel

Prostorový úhel (označujeme Ω) je část prostoru vymezeného kuželosečkou, jejíž vrchol je ve středu místa ze kterého vychází záření. Jednotkou prostorového úhlu je 1 steradián. Jeho velikost si lze představit jako úhel, který v kouli o poloměru 1 metr vytne plochu 1 m^2 . Prostorový úhel $d\Omega$, pod nímž je vidět element plochy dS z bodu P obecné plochy A potom lze prostorový úhel vypočítat ze vztahu [3],[4]

$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos \beta}{r^2} \text{ (sr; }^\circ; \text{mm}^2; \text{mm)}$$



Obrázek 1: Vymezení prostorového úhlu – převzato z [1]

2.2.3 Svítivost

Svítivost (označujeme I) je vlastností světla. Jednotkou svítivosti je kandela [cd], je to základní jednotka. Svítivost udává, kolik světelného toku Φ vyzáří daný zdroj světla v prostorovém úhlu Ω . 1 [cd] jak napovídá název je přibližně svítivosti obyčejné svíčky.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \text{ (cd; lm; sr)}$$

Svítivost se udává pouze pro bodový zdroj světla se zanedbatelnou velikostí oproti vzdálenosti měřeného bodu. Svítivost je vektor, má tedy směr a velikost. Pokud spojíme koncové body vektorů od bodového zdroje světla, dostaneme fotometrickou plochu svítivosti. [1],[4]

2.2.4 Intenzita osvětlení – osvětlenost

Intenzita osvětlení (označujeme E) je množství světelného toku dopadajícího na element plochy. Je to nejsledovanější veličina světelné techniky. Jednotkou svítivosti je lux [lx].

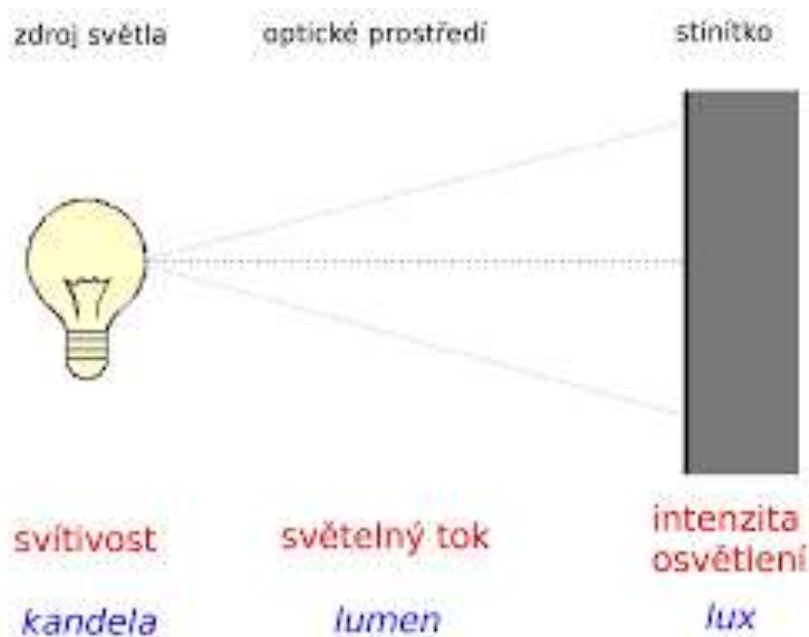
$$E = \frac{d\Phi}{dS} \text{ (lx; lm; mm}^2\text{)}$$

Z převodního vztahu mezi lumenem a wattem plyne, že $1 \text{ W} \cdot \text{mm}^{-2} = 680 \text{ lx}$.

Osvětlenost plochy je také dána svítivostí zdroje a vzdáleností od zdroje. Elektromagnetické záření klesá se čtvercem vzdálenosti, a vzhledem k tomu, že pro nás je nejdůležitější kolmá složka osvětlenosti. Ve světelné technice mluvíme o kosinově zákonu nebo někdy o Lambertově kosinovém zákonu

$$E = \frac{I \cdot \cos\beta}{r^2} \text{ (lx; }^\circ\text{; cd; mm)}$$

Kde I je svítivost zdroje ve směru k osvětlované ploše pod určitým úhlem od zvoleného směru vztažné svítivosti I_0 . [4],[5]



Obrázek 2 :Schéma k výkladu o fotometrických veličinách – převzato z [3]

2.2.5 Jas

Jas (Označujeme L) je z hlediska lidského vnímání nejvýznamnější fotometrická veličina. Jeho jednotkou je cd/m^2 . Při určování jasu záleží na poloze a směru pohledu pozorovatele. Jas je definován jako poměr svítivosti v určitém směru a velikosti svítící plochy. [1],[4]

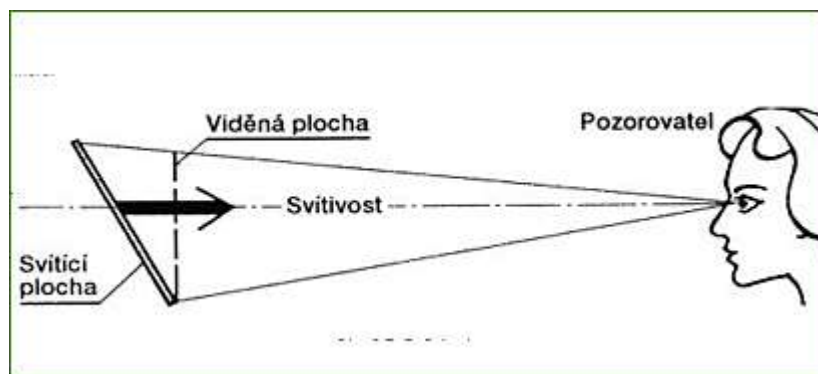
$$L_v = \frac{dI_v}{dS \cdot \cos \alpha} (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}; \text{m}^2; ^\circ)$$

Kde L_v je jas plochy v daném směru

dI_v je Svítivost v daném směru

dS je velikost svítící plochy

α je úhel, který svírá směr, ve kterém jas zjišťujeme s kolmicí k pozorované ploše



Obrázek 3: Definice jasu – převzato z [1]

3 SVĚTELNÉ ZDROJE A JEJICH PARAMETRY

Světelný zdroj je zařízení generující optické záření. Světelné zdroje jsou základem osvětlovacích soustav. Vhodným výběrem světelného zdroje zajistíme kvalitu a hospodárnost osvětlovací soustavy. Světelné zdroje můžeme dnes rozdělit do tří kategorií teplotní (žárovky a halogenové žárovky), výbojové (zářivky a výbojky) a světelné diody (LED)

3.1 Světelné zdroje-rozdělení

3.1.1 Teplotní světelné zdroje

Do této kategorie spadají žárovky a halogenové žárovky. Principem teplotních světelných zdrojů je průchod elektrické energie přes vodivou látku, která v důsledku zahřátí vysílá optické záření. Výhodou těchto zdrojů je jednoduchá konstrukce, nízká cena a fakt, že neobsahují žádné látky, které by zatěžovaly životní prostředí. Hlavní nevýhodou je malá životnost. Odporovým vláknem u žárovek je především wolfram.

3.1.2 Výbojové světelné zdroje

Výbojové světelné zdroje se dělí na dvě základní kategorie nízkotlaké (sodíkové, kompaktní a indukční) výbojky a vysokotlaké (plazmové rtuťové a xenonové) výbojky. Výbojové světelné zdroje pracují na principu elektrických výbojů v plynech a parách různých kovů. Využívají přeměnu elektrické energie na kinetickou energii elektronů, ta se při srážkách s atomy plynů mění na optické záření.

3.1.3 LED světelné zdroje

LED diody pracují na principu vyzařování energie fotonů při návratu elektronů z vybuzeného stavu do základního. V podstatě pracují na úplně odlišném systému než předchozí druhy světelných zdrojů. Za své rozšíření vděčí rostoucímu měrnému výkonu. [1]



Obrázek 4: Rozdělení zdrojů světla – převzato z [7]

3.2 Parametry světelných zdrojů

3.2.1 Měrný světelný výkon

Měrný světelný výkon (označujeme η_v) udává s jakou účinností přeměňuje daný zdroj světla elektrickou energii na světlo. Jeho jednotkou je lm/W.

$$m_z = \frac{\Phi}{P} \text{ (lmW}^{-1}\text{; lm; W)}$$

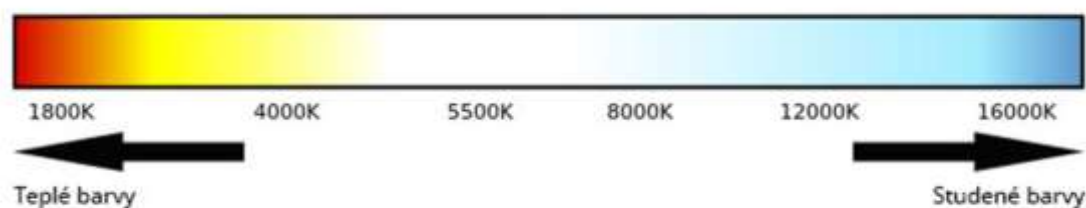
Kde Φ je Světelný tok vyzařený zdrojem

P je Elektrický příkon

U zdrojů bez předřadníku je výkon zdroje stejný, jako příkon svítidla u zdrojů s předřadníkem je nutné přičíst příkon předřadníku. Měrný výkon má zásadní vliv na spotřebu elektrické energie. Měrný výkon zdrojů se v dnešní době pohybuje v rozmezí 10-200 lm/W.

3.2.2 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti (označujeme T_c) je odborný název pro vyjádření barvy, které daná svítidlo vyzařuje. Udává se v Kelvinech [K]. Teplotou chromatičnosti světelného zdroje ekvivalentní teplota Planckova zářiče Při které je spektrální složení těchto zdrojů blízké. Se zvyšující se teplotou chromatičnosti zdroje klesá v důsledku spektrální citlivosti oka světelný tok a s tím úměrně i jeho měrný světelný výkon.[8],[9]



Obrázek 5: Tupnice teploty chromatičnosti převzato z – [10]

Čím vyšší teplota tím studenější světlo. Pro práci je vhodnější studenější barva naopak pro relaxaci teplejší.

3.2.3 Index podání barev Ra

Je to bezrozměrná veličina udává se v jednotkách Ra na stupnici 0-100 Ra. Označuje schopnost podání barev světelného zdroje, přičemž index 100 Ra mají zdroje, které zobrazují barvy věrně tzn. Jako denní světlo. Naopak 0 Ra znamená, že zdroj vyzařuje světlo o jedné vlnové délce a nemůže docházet k rozeznání barev. Standardem pro pracovní dobu s trvalým pobytem osob je Ra 80.

Někdy se u světelných zdrojů můžeme setkat s označením CRI (Color Rendition Index) jedná se o totéž jako parametr Ra se stupnicí od 0 do 100.

Index podání barev patří mezi nejdůležitější vlastnosti světelného zdroje.[8][8]



Obrázek 6: Vliv R_a zdroje na podání barev – převzato z [11]

3.2.4 Životnost světelného zdroje

V průběhu činnosti světelného zdroje dochází k jevům, které způsobují postupnou změnu vlastností světelného zdroje a určují tak dobu po kterou je zdroj schopen splnit všechny požadavky na osvětlování. Životnost zdroje je doba funkce do okamžiku, kdy světelný zdroj přestal splňovat stanovené požadavky. Doba životnosti se udává v hodinách.

Střední doba života – doba, za kterou 50% světelných zdrojů daného typu po uplynutí doby životnosti bude plně funkční

Užitečný život – doba funkce zdroje, za kterou jeho vlastnosti neklesnou pod stanovenou hranici (v praxi často pod 80%).

Fyzický život - Celková doba životnosti do doby, kdy světelný zdroj přestává být schopný generovat světelné záření (u žárovky= do přerušení vlákna). [8]

3.2.5 Jmenovité napětí a příkon

Jmenovité napětí – je to základní elektrický parametr který udává na jaké napětí lze daný zdroj světla připojit. Nejvhodnější je síťové napětí 230V, dále se používá 24V nebo 12V. Zdroje pro nižší napětí mají delší životnost, protože povolují pro stejně velký výkon použít vlákna většího průměru.

Jmenovitý příkon – Určuje činný příkon zdroje, udává se ve wattech. U výbojových zdrojů je celkový příkon vyšší o ztráty v předřadném prvku.[9]

4 LED DIODA

LED diody se stávají stále častějším zdrojem světla pro všechny možnosti využití. Jedná se o polovodičovou součástku, které průchodem proudu přes P-N přechod je schopna generovat opticky viditelné záření. Fotonová emise vznikne jako výsledek rekombinace párů elektron - díra v P oblasti. Základem LED diody je polovodičový čip připojený ke zdroji a pokrytý vrstvou materiálu, který dává potřebné vlastnosti vyzařovanému světlu. Pro správnou funkčnost musí být LED dioda zapojena v propustném směru, z toho vyplývá že, tato dioda potřebuje stejnosměrný proud a u zdrojů střídavého napětí musíme použít usměrňovač. LED dioda vyzařuje světlo pouze v úzkém spektru, proto vlnová délka vzniklého světla závisí na chemickém složení polovodiče. (Mezi nejrozšířenější patří sloučeniny aluminium indium galium fosforid (AlInGaP) a indium galium nitrid (InGaN). Výhodou LED oproti žárovkám je možnost stmívání, protože LED se snižující se nebo zvyšující se intenzitou nemění svou barvu, při připojení se téměř okamžitě rozsvítí (řádově několik milisekund) a nevadí jim ani časté zapínání a vypínání. Dále pracují s nižšími napětími a proudy což vede k úspoře elektrické energie.[9],[15]



Obrázek 7: Schematická značka LED – převzato z [12]

4.1 P-N přechod

Základním prvkem LED je P-N přechod v polovodičové součástce.

Polovodič typu P – je příměsový polovodič, ve kterém v důsledku spojení prvků z vyšší skupiny tabulky periodických prvků (4. Skupina Si) s prvky nižší skupiny (3. Skupina Al) dochází k nedostatku elektronů a tím vznikají v polovodiči typu P tzv. díry po elektronu, který by se podílel na další vazbě. Polovodič P se označuje jako akceptor (příjemce), protože jeho majoritními nosičem jsou díry a minoritním elektrony. Polovodiče typu P se vyznačují kladným nábojem.

Polovodič typu N - je příměsový polovodič, ve kterém v důsledku spojení prvků z nižší skupiny tabulky periodických prvků (4. Skupina Si) s prvky vyšší skupiny (3. Skupina P) dochází k přebytku elektronů. Poslední elektron je vázán pouze slabými silami a může se uvolnit a pohybovat po krystalu. Polovodič typu N se označuje jako donor (dárce), protože jeho majoritním nosičem je elektron a minoritním díry. Polovodiče typu N se vyznačují záporným nábojem.

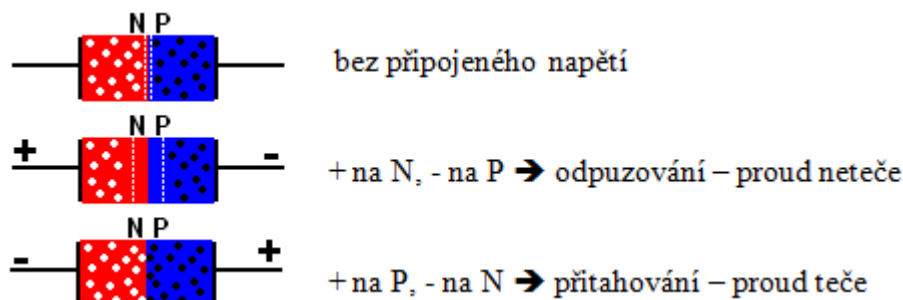
Princip P-N přechodu

K vytvoření P-N přechodu je potřeba spojit oba polovodiče na mikroskopické úrovni. Jelikož jsou díry i elektrony nosiče nábojů neustále se pohybují. V polovodiči typu N díry rekombinují s elektrony a analogicky k tomu v polovodiči P jsou díry zaplňovány volnými elektrony. Na rozhraní polovodičů se u polovodiče N tvoří nevykompenzované kladné ionty donorů. Vzniká tak hradlová vrstva široká asi 1 μm s elektrickým polem. Intenzita tohoto pole směřuje z N do P, toto pole také brání k dalšímu průchodu nosičů do oblasti P-N přechodu.

Zapojení P-N přechodu můžeme provést ve dvou směrech, propustném nebo závěrném směru.

Propustný směr – P-N přechod přiložíme tak aby polovodič P byl na kladném pólu zdroje. V přechodu vznikne vlivem zdroje elektrické pole opačně orientované než pole hradlové vrstvy, dojde ke snížení této vrstvy a přechodem může procházet proud

Závěrný směr – při opačné zapojení jsou elektrony z části N přitahovány ke kladnému pólu zdroje a díry z P jsou zaplňovány elektrony ze záporného pólu, dochází k rozšíření hradlové vrstvy a zvětšení oblasti bez náboje. Takovýmto zapojením prochází jen velmi malý závěrný proud.[13]



Obrázek 8: Zapojení P-N přechodu – převzato z [14]

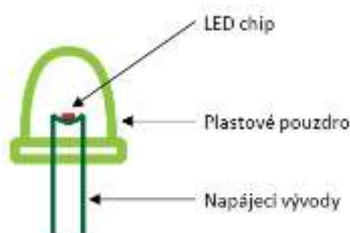
4.2 Konstrukce LED

Konstrukčně je LED dioda tvořena kontaktním čipem nebo kombinací čipů, které jsou pokryty vrstvou materiálů s požadovanými optickými vlastnostmi (LED se vyrábějí v bodové nebo rozptylovém provedení s různým vyzařovacím úhlem). Vývod kontaktů se provádí buď v provedení pro povrchovou montáž (SMD) nebo v provedení ohebných přívodů. Sestavy s více LED se provádí zapouzdřením všech čipů do jednoho pouzdra, kontakty mají vyvedeny samostatně pro každý čip, se společnou katodou a anodou.

Vícebarevné LED obsahují více diod, kde výsledná barva se stává složením barev jednotlivých čipů (např. RGB- červená,zelená,modrá).[16]

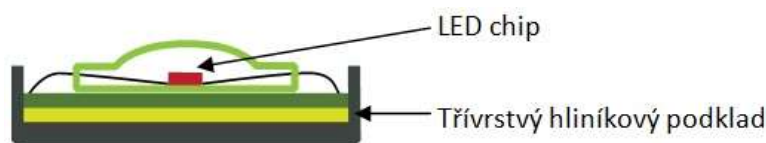
4.2.1 Typ konstrukce LED

DIP LED – jedná se o nejstarší typ LED. DIP je tvořena LED čipem usazeným na malém reflektoru zapouzdřeném v plastovém obalu. Z pouzdra dále vedou napájecí vývody. Chlazení u tohoto typu je prováděno právě přes tyto vývody a proto je chlazení velmi neefektivní a zkracuje život LED.



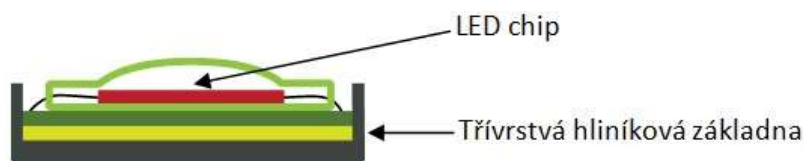
Obrázek 9: Konstrukce DIP LED - převzato z[17]

SMD LED - jedná se o novější typ, jak už název napovídá je tato LED tvořena pro povrchovou montáž. Malý LED čip je položen na třívrstevném hliníkovém podkladu. Na stranách pouzdra jsou pájecí plošky, tím je zajištěn lepší odvod tepla a teda i delší životnost LED.



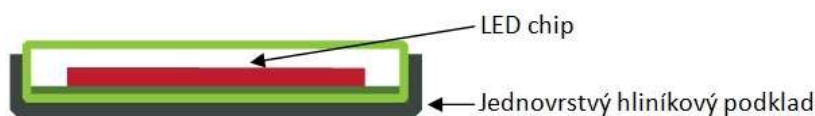
Obrázek 10: Konstrukce SMD LED - převzato z[17]

COB LED – Je nástupcem SMD LED, zkratka znamená Chip on board a hlavním aspektem je, že je tvořen velkým LED čipem a to zajišťuje ještě lepší odvod tepla.



Obrázek 11: Konstrukce COB LED - převzato z[17]

MCOB LED – Multi chip on board, jedná se o velký LED čip umístěný na jednovrstvé hliníkovém podkladu, to zaručuje nejlepší možné chlazení. Jak naznačuje slovo multi v názvu na hliníkové podložce je více čipů.[17]



Obrázek 12: Konstrukce MCOB LED - převzato z[17]

4.2.2 Chlazení LED

Princip chlazení je pro LED zdroje velmi důležitý, protože se zvyšující se provozní teplota má negativní vliv na vlastnosti polovodiče, a to především na svítivost a životnost zdroje.

Materiál chladiče – by měl mít co největší tepelnou vodivost, neboť ta vyjadřuje schopnost látky vést teplo, v podstatě jde o rychlost s jakou látka převádí teplo z jedné (teplejší) části do druhé (chladnější). Na obrázku jsou uvedeny materiály a jejich tepelné vodivosti používané při konstrukci LED

Tabulka 2: Tepelná vodivost materiálů pro LED - převzato z[18]

Materiál	Tepelná vodivost [W/mK]
Plast (PVC)	0,16
Keramika (Al ₂ O ₃)	30
Hliník (Al)	237

Z tabulky je patrné, že plast se jako chladicí materiál vůbec nehodí a dokonce by při jeho použití mohlo dojít k roztavení. Nejlepším materiálem pro chladič je hliník, přesto se PVC a keramika používají. Jsou levnější na úkor kvality.[18]

Tvar chladiče – v dnešní době představuje konstrukce chladiče pro LED žárovky a LED bodovky hliníkový obal LED zdroje. Tělesa jsou vyrobena tlakovým litím hliníkových slitin

z důvodu optimálního přenosu tepla. Prozatím je to nejlepším řešením. Hliníkový obal bývá často zvrásněný z důvodu zvětšení plochy pro odvod tepla.[19]

4.2.3 Typy patic pro LED žárovky a bodovky

Konstrukce patice se u světelných zdrojů využívá pro připojení světelného zdroje k napájecímu. Patice je ke světelnému zdroji pevně spojena. Princip patice slouží montáži a demontáži světelných zdrojů laiky bez elektrotechnické kvalifikace.



Obrázek 13: Základní typy patic - převzato z[20]

E27 - Závit označovaná jako velký Edisonův závit slouží ve většině případu na síťové napětí 230 V, je to nejpoužívanější typ patice. Průměr patice má 27mm, závity jsou s hladkými závity.

Použití: lustry a stropní i nástěnná svítidla

E14 – Závit označovaný jako malý Edisonův závit, někdy také lidově „miňonka“. Ve většině případů na síťové napětí 230 V. Průměr závitu je 14mm.

Použití: kuchyňské digestoře, trouby, noční lampičky, stylová světla, orientační světla

GU5.3/MR16 – Patice bez klasického závitu, závit nahrazen dvěma symetrickými kolíčky o průměru 1mm, rozstup kolíků je 5,3mm. LED se pouze zasune. Napájecí napětí je zde 12 V.

Použití: bodová světla, podhledy, kuchyně, koupelny, WC, předsíně

GU10 – používá se u otevřených svítidel, napájecí napětí je zde 230V. Místo závitu má dva symetrické kolíčky o průměru 5mm, rozstup mezi kolíky je 10mm. LED se po zasunutí musí pootočit.

Použití: bodová světla, podhledy, kuchyně, koupelny, WC, předsíně

G9 – Méně rozšířený typ, pracuje na síťové napětí 230 V. V zadní části zdroje jsou pro připojení vyvedeny dva kontakty.

Použití: stropní svítidla, nástěnná svítidla

G4 – Pracuje s napětím 12 V střídavé a 24 V stejnosměrné. Rozteč dvou kolíků je 4mm.

Použití: podhledy, stolní a nástěnné lampy, signalizační svítidla[21]

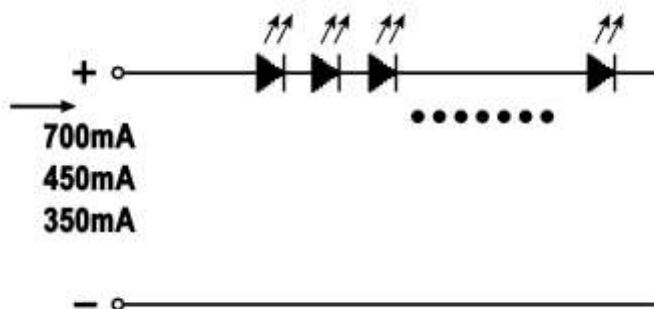
4.3 Napájení LED

LED světelné zdroje potřebují ke své správné funkci stejnosměrný proud proto i možnosti napájení LED byly dlouhou dobu omezeny na dva způsoby zdroj konstantního proudu nebo zdroj konstantního napětí. Pro delší trasu obvodu byl tento způsob nevýhodný, kvůli ztrátám v závislosti na vzdálenosti. V důsledku těchto ztrát a s vývojem výkonových LED, bylo navrženo napájení LED střídavým napětím. Počátečním řešením bylo připojit do obvodu AC/DC měnič, což se z důvodu přítomnosti elektrolytických kondenzátorů (nízká životnost) ukázalo jako neefektivní. Současným řešením se staly AC-LED, které umožňují napájení přímo ze sítě (230/50 V/Hz), díky své vnitřní konstrukci.

4.3.1 Napájení ze stejnosměrného zdroje

Zdroje konstantního proudu

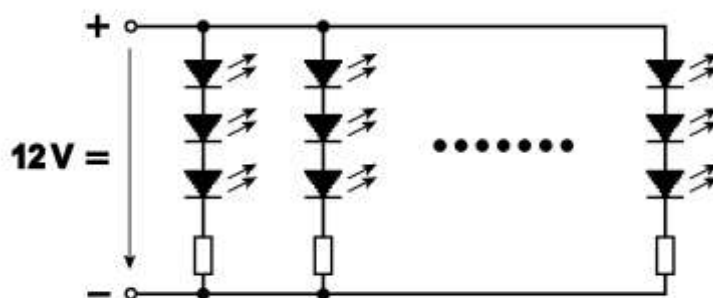
Zdroje konstantního proudu jsou označovány CC (Constant Current). Proud LED diodou je omezen pouze elektronikou zdroje. Pokud jde o zdroj spínaný, nevzniká žádná výkonová ztráta. Jednotlivé LED diody nebo LED moduly se zapojují do série, tím je daný proud všemi diodami a je stejný jako proud zdroje. Propustná napětí se v sérii sčítají, výsledné napětí musí být v regulačním pásmu zdroj, jinak může dojít ke zničení zdroje nebo ke zničení LED modulu.



Obrázek 14: Proudové napájení LED - převzato z [28]

Zdroje konstantního napětí

Zdroje konstantního napětí označované jako CV (Constant voltage). Jednotlivé části sestavy se na zdroj připojují paralelně proud diodami je zde dán odporem, který je zapojen v sérii k diodám. Pro stabilizaci proudu by měl být úbytek napětí na rezistoru alespoň 20% napětí LED diod. Na sériovém odporu vzniká výkonová ztráta, která je u diod menších výkonu akceptovatelná. Výsledný proud je dán součtem proudů jednotlivých větví. Na zdroj konstantního napětí jsou kladeny požadavky na jmenovité napětí a výkon zdroje musí být větší, než je celkový výkon zátěže. Zdroje konstantního napětí se používá pouze u LED pásků, kde ztrátový výkon nedosahuje velkých hodnot. [28]

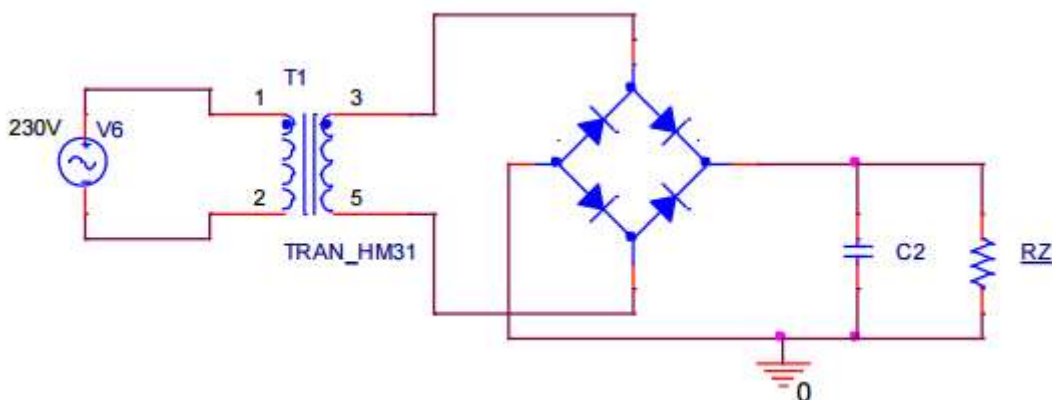


Obrázek 15: Napětové napájení LED - převzato z[28]

4.3.2 Napájení ze střídavého zdroje

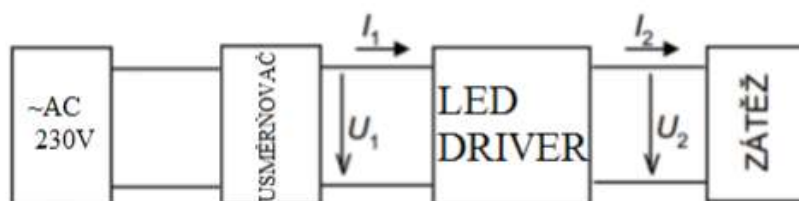
Napájení s AC/DC měničem

Měnič je zařízení, které mění vstupní signál odlišný signál, nejčastěji na menší hodnotu tohoto signálu. V praxi se nejčastěji využívají měniče ze střídavého na stejnosměrný signál a naopak. Pro napájení výkonových LED ze sítě je potřeba, změnit střídavé napětí na stejnosměrné. Toho dosáhneme připojením AC/AC měniče (transformátor) s usměrňovacím prvkem (nejčastěji Graetzův usměrňovací můstek) toho dosáhneme požadovaného výstupního stejnosměrného signálu. Obvod je doplněn o filtrační kondenzátor, který udržuje relativně konstantní napětí.



Obrázek 16: Schéma zapojení AC/DC měniče[35]

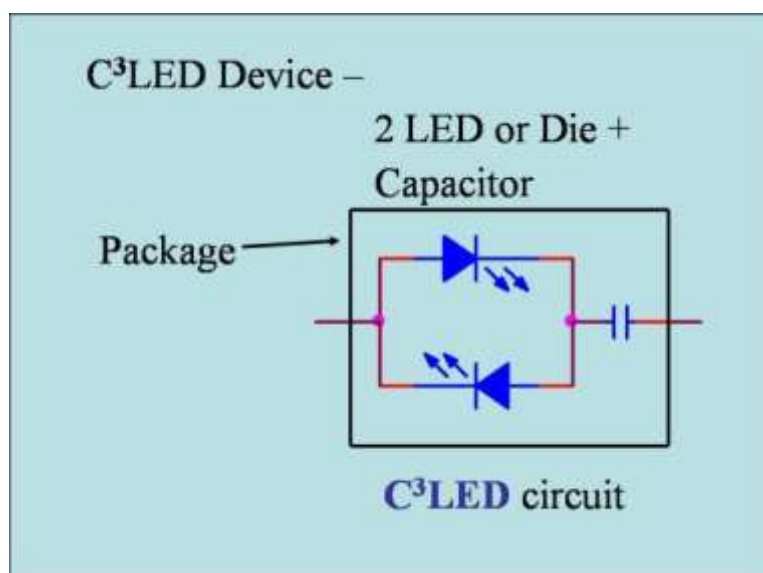
V současné době se používají moderní polovodičové obvody, které dokážou pracovat s vysokým napětím. Tyto typy měničů jsou často doplněny usměrňovačem. Hlavní předností je odpadnutí vstupního transformátoru. Do obvodu je vpraven LED driver, který obsahuje napěťový regulátor, který vytváří vnitřní napěťovou referenci pro napájení vnitřního obvodu. LED driver je dále doplněn o spínací tranzistor typu MOSFET.[35]



Obrázek 17: Blokové schéma zapojení AC/DC měniče[35]

AC-LED

„AC-LED“ je ve své podstatě nesprávné označení, jelikož LED diody potřebují ke své správné funkci stejnosměrný proud. Spousta firem vyvinulo LED žárovku, která je připojitelné přímo ke zdroji střídavého napětí, avšak většina takových LED světelných zdrojů stále obsahuje vnitřní obvody, které mění střídavé napětí na stejnosměrné. Principem AC-LED spojení více LED do jednoho pouzdra do jednoho pouzdra, přičemž diody jsou v řetězci zapojeny tak, že polovinu cyklu střídavého sinusového napětí polovina diod vyzařuje světlo a druhá polovina zůstává tmavé a naopak při druhé polovině cyklu (diody jsou navzájem zapojeny v opačném směru. Problémem této metody je, že přináší omezenou účinnost. Led dioda je schopna vyzařovat světlo jen při nominálním napětí a proto, by při takovém to zapojení LED dioda emitovala světlo jen v malé části půlvlny, což je energeticky velmi neefektivní řešení. Tento problém byl vyřešen připojením kondenzátoru do obvodu, který podobně jako rezistor v obvodu stejnosměrného napětí reguluje napětí a dodává LED diodě požadovaný proud. [36]



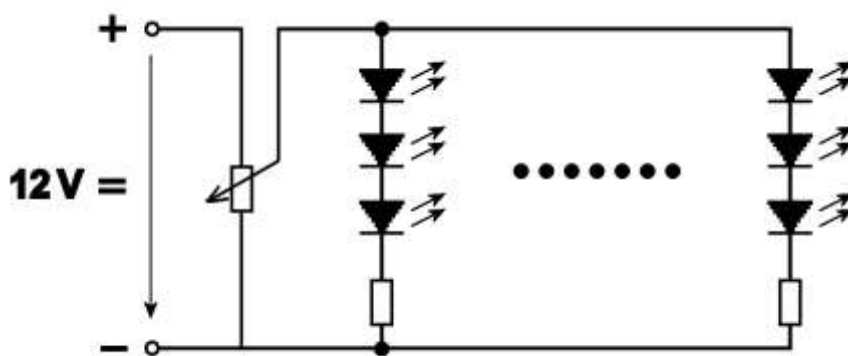
Obrázek 18: Schéma zapojení LED pro napájení z AC zdroje [36]

4.4 Regulace jasu LED

Mezi hlavní důvody regulace patří dosažení požadované hodnoty světelného toku s ohledem na požadavky uživatele a snížení nákladů na provoz. Výsledkem regulace LED je zlepšení kvality osvětlení v závislosti na denní činnosti a snížení příkonu. Pro efektivní regulaci, jsou známy tři způsoby. První a nejjednodušší způsob je změna amplitudy harmonického proudu přidáním předřadného odporu s proměnou hodnotou. Dalším způsobem je pulzní šířková modulace (PWM) a posledním způsobem je fázová modulace. Způsob stmívání LED je závislý na způsobu napájení LED.

4.4.1 Změna amplitudy proudu

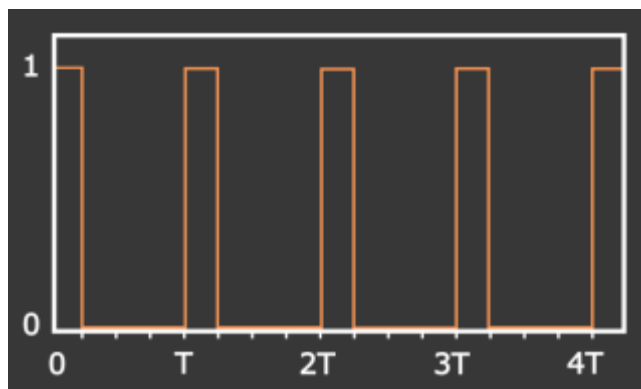
Tento způsob regulace je vhodný pro LED světelné zdroje napájené ze stejnosměrného zdroje napětí nebo proudu. Princip regulace je připojení proměnného odporu s potenciometrem do obvodu. Potenciometrem můžeme regulovat proud, který protéká do LED a tím i množství světelného toku který světelný zdroj vyzáří.



Obrázek 19: zapojení potenciometru pro zdroj konstantního napětí

4.4.2 Pulzní šířková modulace

Tento způsob regulace je vhodný pro LED světelné zdroje napájené ze stejnosměrného zdroje nebo pro LED napájené ze sítě s elektronickým předřadníkem (AC/DC měničem). Principem činnosti je změna stejnosměrné napěťové úrovně na pulzní obdélníkový signál. To způsobí, že LED začne blikat, aby byl světelný tok pro lidské oko konstantní, musí být frekvence pulzů větší než je lidské oko schopné zachytit ($>600\text{Hz}$). Tato metoda pracuje s pomocí dvoustavového signálu (0-LED nesvíí a 1-LED svítí), množství výkonu, který projde PWM je dán poměrem délky impulzu ku délce mezery uvažované v jedné periodě. Tento poměr se nazývá střída.



Obrázek 20: PWM signál se střídou 25%[38]

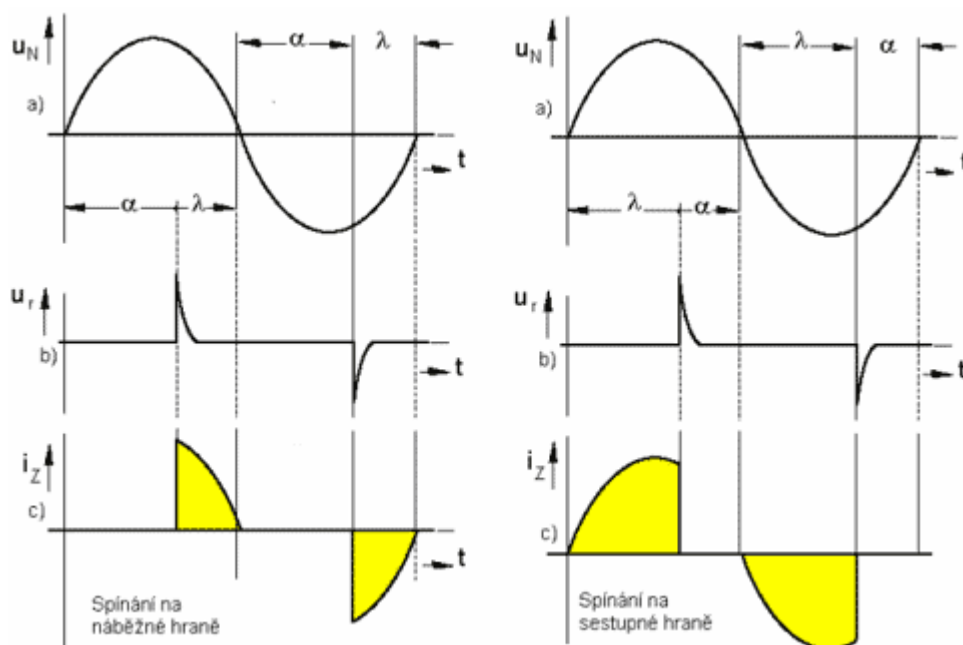
Zásadní výhodou této regulace jsou minimální výkonové ztráty na regulátoru. Spínací prvek je buď zapnutý, nebo vypnutý. Další výhodou je, že signál má vysokou napěťovou úroveň na nízké impedanci a proto je velmi odolný vůči rušení.

PWM regulátorů je nepřeberné množství patří k nim i převodníky různých jiných signálů na PWM, ve světelné technice se nejčastěji používají převodníky ze signálu 0-10V, 1-10V, DMX512 a DALI.[37]

4.4.3 Fázová regulace

Tento způsob regulace je vhodný pouze pro AC-LED, protože pracuje s modulací střídavého napětí. Původní harmonický průběh střídavého napětí se pomocí fázového řízení zdeformuje a tím se omezí výkon světelného zdroje. Fázové řízení můžeme aplikovat na náběžnou hranu nebo sestupnou hranu. Ve starších stmívačích je k fázovému řízení použit triak. Při spínání na náběžné

hraně se triak otevírá v každé půllně spínacím impulsem a vypíná při průchodu nulou, zatímco při spínání na sestupné hraně je tomu naopak. Volba spínání na náběžné nebo sestupné hraně závisí na typu připojené zátěže, LED světelné zdroje mají kapacitní charakter, a proto použijeme spínání na sestupné hraně. V modernějších byl triak nahrazen IGBT tranzistorem nebo tranzistorem typu MOSFET, které se vyznačují vysokou rychlostí otevírání a zavírání.[39]

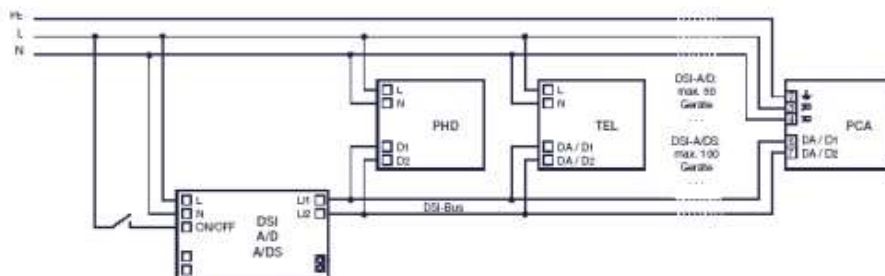


Obrázek 21: Fázové řízení pomocí triaku[39]

4.5 Digitální řídicí systémy

4.5.1 Rozhraní DSI

Digitální sériové rozhraní (digital serial interface) převádí signály elementů na digitální data a přenáší je k jednotlivým elektronickým předřadníkům. Jelikož jsou předřadníky řízeny digitálně je světelný tok na všech svítidlech konstantní. Při stmívání jsou jednotlivé úrovně stmívání přiřazeny jedné hodnotě světla. Odstupňování je v souladu s logaritmickou křivkou oční citlivosti, a proto je stmívání vnímané lidským okem lineární.



Obrázek 22: schéma zapojení elektrických předřadníků s rozhraním DSI[1]

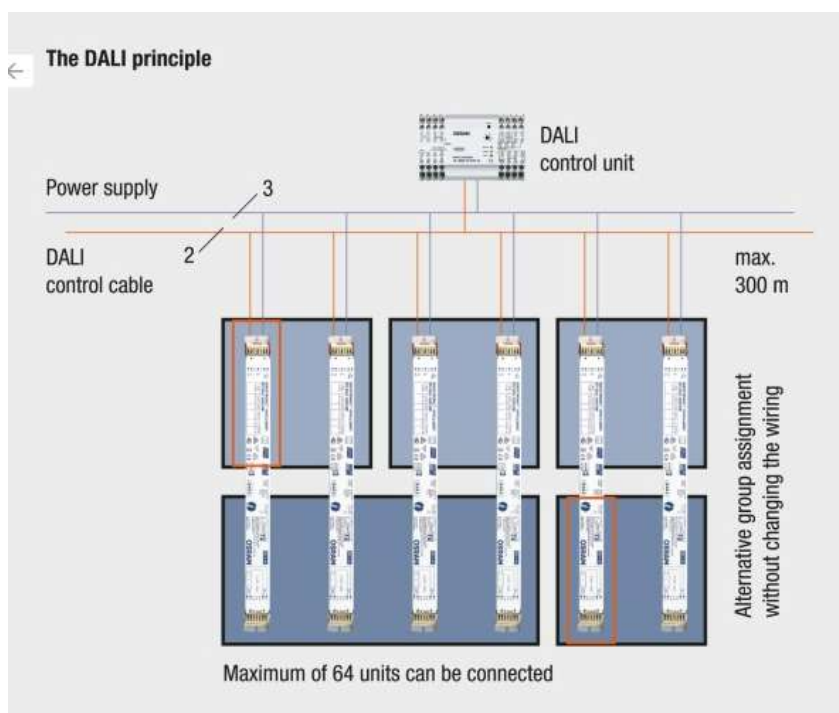
4.5.2 Rozhraní DALI

Protokol DALI byl vyvinut v polovině devadesátých let minulého století. Ovládání pomocí analogových systémů neumožňovalo ovládání jednotlivých svítidel v osvětlovacím systému. Proto byl vyvinut univerzální sběrníkový systém, pro komunikaci mezi všemi zúčastněnými

komponenty. Zkratka DALI představuje digitální adresovatelné osvětlovací rozhraní (Digital Addressable Lighting Interface). Protokol DALI je norma, která zajišťuje kompatibilitu předradníků od různých výrobců. Jednotlivé prvky mohou vzájemně komunikovat po vlastní sběrnici. Každý prvek má svou vlastní adresu, což umožňuje individuální řízení jednotlivých prvků.

Systém DALI byl navržen pro max. 64 individuálních jednotek, 16 skupinových adres a pro 16 světelných hodnot scén.

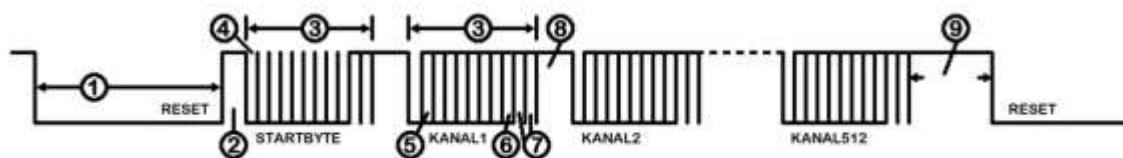
Omezení pro protokol DALI je dán celkovým příkonem prvků, dále délka sběrnice nesmí přesahovat 300m nebo nesmí překročit úbytek napětí 2V.[1]



Obrázek 23 Princip rozhraní DALI[27]

4.5.3 Protokol DMX 512

Protokol DMX 512 byl vyvinut k ovládání světelné techniky, postupem času se stal standardem v jevištní technice. Protokol DMX vychází ze specifikace průmyslového protokolu EIA485. DMX 512 byl navržen roku 1986 institutem pro divadelní techniku spojených států pro řízení stmívačů a speciálních efektů pomocí digitálního rozhraní. Přenosová rychlost u protokolu DMX 512 je 250kb/s a jak napovídá název velikost přenášených dat je 512 datových bajtů. Data jsou odesílána bez adresy, a proto se o přeložení příkazu stará každé zařízení samo. Každé zařízení má nastavenou svou počáteční adresu, od které se odečítá požadovaný počet paketů. Počáteční adresa může být 1-512, respektive 0-511. Na sběrnici smí být připojeno pouze 32 přijímačů. Jednotlivé přijímače mohou obsahovat více adres a naopak jednotlivé adresy mohou být obsluhovány větším počtem přijímačů. Z rychlosti přenosu lze spočítat časový okamžik pro jeden bit, doba trvání jednoho bitu je 4μs u datového rámce (11 bitů) je to 44μs.



Obrázek 24: Časování protokolu DMX 512[40]

Nevýhodou DMX215 je, že při delším výskytu vysoké či nízké úrovně (více než 1s), ztratí signál. Zařízení se při ztrátě signálu chovají různě, Může se okamžitě resetovat, může se resetovat po delší době, nebo může zůstat v posledním nastavení. Protokol DMX512 není zpětnovazební, a proto připouští chybu na lince.[40]

4.6 Výhody a nevýhody LED

Jako každý zdroj světla mají i LED zdroje své výhody a nevýhody. Zde jsou vypsány příklady vlastností, které jsou vhodné nebo nevhodné při použití LED

Výhody

- Vyšší měrný výkon než většina ostatních zdrojů světla (10x víc než žárovka, 2x více než zářivka), důsledkem je snížení spotřeby energie až o 80%.
- Jejich pouzdro může být konstruováno tak, aby soustředilo světlo na určité místo. Tepelné a fluorescenční zdroje potřebují vnější optickou soustavu
- Při použití se LED zdroj nezahřívá
- Mohou vyzařít světlo v požadované barvě bez použití složitých filtrů
- Při zapnutí dosáhne plného výkonu v řádech milisekund
- Lze ji stmívat bez změny barvy vyzařovaného světla
- Velmi odolná vůči nárazům
- Můžeme ji využít v místech častého zapínání a vypínání bez ohrožení provozních vlastností
- Nejdelší životnost ze všech světelných zdrojů, výrobci uvádí až 25 000 h
- Nemusí se speciálně likvidovat, protože neobsahují rtuť
- Nejčastější příčinou jejich selhání je postupný úbytek jasu, na rozdíl od žárovek, u kterých se nejčastěji přeruší vlákno

Nevýhody

- Velké pořizovací náklady ve srovnání s běžnými světelnými zdroji, dále u menších LED zdrojů někdy nestačí pouze jeden a musí se koupit sestava.
- Při výrobě se používají polovodičové materiály jejíž získávání zatěžuje životní prostředí
- Jejich výkonnost závisí na teplotě okolí, vysoká teplota může způsobit přehřátí pouzdra a selhání zařízení. V případě vyšších teplot je potřeba zajistit potřebné chlazení
- Obvykle vyzařuje světlo jen v úzkém paprsku a jednom směru
- Roste znepokojení z toho, že modré a bílé LED jsou teď schopny poškodit zrak. Oko je výrazně citlivější na modré a bílé světlo a přílišná intenzita může oko především v noci poškodit[24]

4.7 Technické parametry LED zdrojů

4.7.1 Technické parametry udávané výrobcí

Příkonový rozsah – nízkopříkonové ($P < 0,5 \text{ W}$) – napájecí napětí 3,1-3,5V (většinou 1 LED)

$0,5 \text{ W} < P < 5 \text{ W}$ – napájecí napětí 2,8-14,7 V (někdy 230V)

$5 \text{ W} < P$ – napájecí napětí 3,6-24 V nebo 85-265V

Teplota chromatičnosti – V rozmezí 2700-6500K

Index podání barev – zpravidla se pohybuje v rozmezí 65 – 95 Ra.

Střední doba života – udávaná doba života LED zdrojů se pohybuje v rozmezí 20000 – 60000 h v některých případech výrobce udává až 500000. Nesmí se zapomenout, že jde o střední dobu života.

Tabulka 3: Parametry LED zdrojů různých výrobců - převzato z [26]

Výrobce	Země	Příkon [W]	ϕ [lm]	η [lm/W]	T [h]	Ra [-]	T_{cr} [K]
Osram	Německo	8,0	345	43,1	25000	80	3000
Philips	Holandsko	8,0	470	58,8	25000	80	2700
Lemnis Lighting	Holandsko	6,0	360	60,0	35000	87	2900
Ledon	Rakousko	6,0	438	73,0	25000	90	2800
Lighting Science	USA	8,0	435	54,4	50000	85	3000
LEDnovation	USA	9,9	520	52,5	50000	82	2700
Sylvania	USA	8,0	430	53,8	50000	85	3000
EARTHLED	USA	7,0	350	50,0	50000	80	3000
Sharp	Japonsko	7,5	360	48,0	40000	80	2800
Toshiba	Japonsko	9,0	600	66,7	40000	80	2700
Aeon lighting	Taiwan	7,0	355	50,7	20000	80	3100

5 LABORATORNÍ MĚŘENÍ

5.1 Možnosti měření

5.1.1 Provozní vlastnosti světelných zdrojů

Provozní vlastnosti světelných zdrojů je soubor elektrických a světelných technických parametrů v závislosti na jiných parametrech, které jsou z hlediska světelných zdrojů variabilní. Závislé parametry jsou potom kvalitativní a kvantitativní ukazatele provozu zdroje za daných podmínek. Provozní vlastnosti jsou velmi široký pojem, proto je třeba upřesnit typ zdroje, pro naše účely to jsou LED stmívatelné zdroje s předřadným systémem. V technické praxi se používají ty závislosti, které přímo nebo nepřímo souvisí s ekonomickou stránkou provozu. Mezi nejčastější charakteristiky světelných zdrojů patří křížové charakteristiky (závislost vybraných parametrů na svorkovém napětí zdroje). Další významnou skupinou charakteristik jsou provozní vlastnosti v závislosti na čase (od zapnutí zdroje po ustálení měřených parametrů). Provozní

vlastnosti světla mohou být měřeny i v delším časovém rozsahu, který odpovídá délce života zdroje. V tomto směru nás nejvíce zajímá světelný tok a střední doba života zdroje. Pro pokles světelného toku za dobu života rozdělujeme na tři etapy: zahoření (relativně velký pokles na hodnotu udávanou výrobcí), stabilní doba svícení (stabilní parametry po většinu doby životnosti zdroje), degradace materiálů (pozvolné, ale zrychlující se pokles světelného toku).

Výběr parametrů závisí na typu měřeného zdroje:

Celkový proud I odebíraný zdrojem. Proud můžeme měřit přímo na zdroji. Musíme použít vhodný měřicí přístroj, který zachycuje efektivní hodnotu proudu.

Činný příkon P odebíraný zdrojem a příkon odebíraný celou soustavou. Měřicí přístroj musí splňovat podmínky jako při měření proudu.

Světelný tok Φ měřený v kulovém integrátoru. Světelný tok se musí přepočíst přes konstantu kulového integrátoru. Pro naše měření 440lm/V.

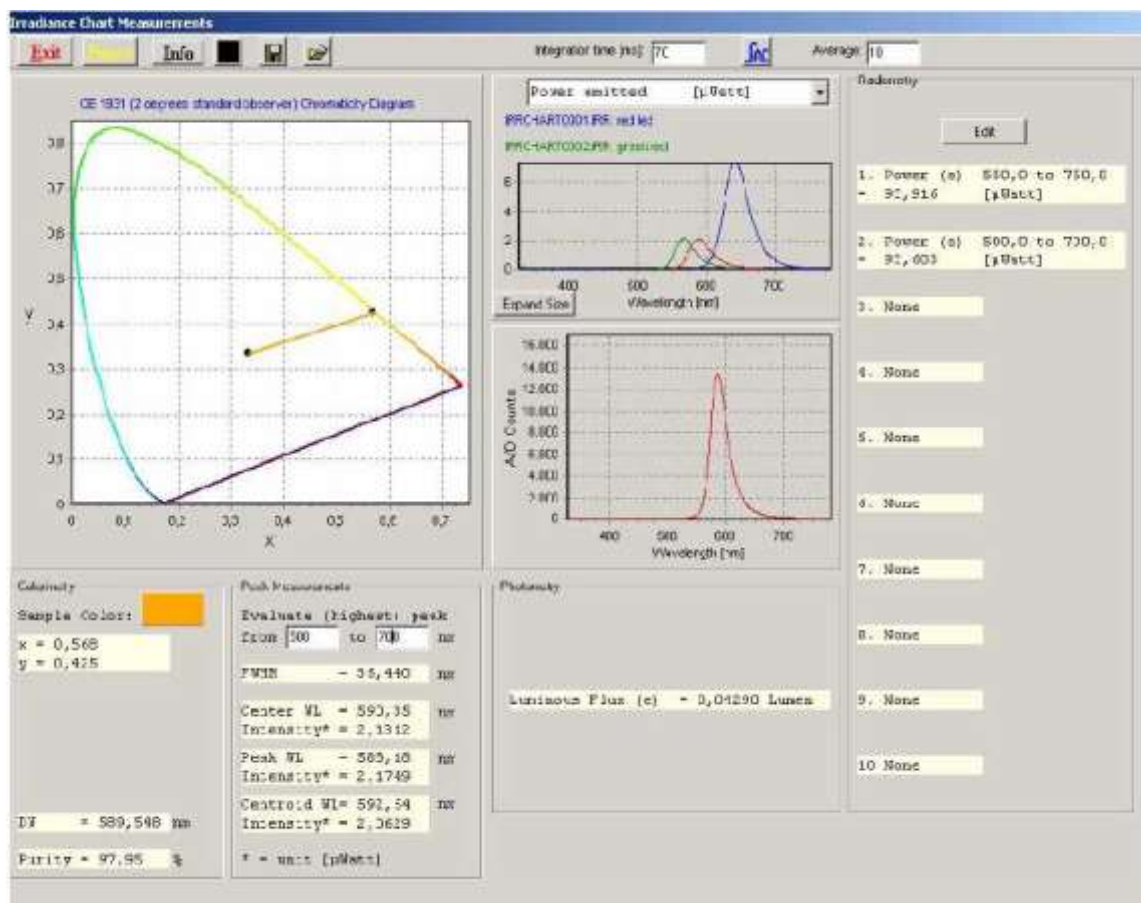
Měrný výkon m_z světelného zdroje. Přeměnu elektrické energie na světelnou.

Účinnost η , která udává poměr činného příkonu zdroje k celkovému příkonu, a tím zahrnuje i ztráty v předřadných obvodech.

Napětí U na přivedené na světelný zdroj po fázové modulaci.

5.1.2 Měření křivek svítivosti

Pro měření křivek svítivosti se používá světlované vlákno s kosinovým korekčním nastavcem, který slouží jako senzor hodnoty osvětlení. Pro měření v laboratoři světelné techniky VUT FEKT je spektrometr spojen s PC rozhraním USB, kde jsou data vyhodnocena programem AvaSoft. Přenos dat světlovaným vláknem není bezdrátový a integrátor má taky určitou účinnost přenosu, musí se provést korekční měření. Kalibrace se provádí pomocí korekčního zdroje světla, jehož přesná data jsou přiložena k programu. Aby se nemusela provádět celá kalibrace od začátku, použije se kalibrační soubor, který byl k těmto účelům vytvořen. Po kalibraci se nastaví detektor světla (kosinový korektor), zvolí se veličiny, které chceme měřit a zadá se fotometrická vzdálenost mezi měřicím prvkem a světelným zdrojem. Po zobrazení obrazovky se přistoupí k vlastnímu měření. Do přípravku se vloží světlované vlákno a do goniofotometru světelný zdroj. Stanoví se fotometrická vzdálenost pro nastavení měřidel. Světelný zdroj musí být ve stejné ose jako měřidlo. Po rozsvícení zdroje je v horní části obrazovky kolorimetrický trojúhelník, ve kterém se zobrazuje poloha (barva) měřeného vzorku. Vpravo od něj jsou dva grafy, jeden orientační, který měří pouze počet vzorků na jednotlivých vlnových délkách a druhý, který zobrazuje vyzařování už v přepočtených jednotkách. V dolní části obrazovky se zobrazují změřené hodnoty veličin, které jsme zvolili, že chceme změřit. Po nastavení polohy na 0° odečteme hodnotu svítivosti. Poté postupujeme po 1° a zapisujeme jednotlivé hodnoty svítivosti. Naměřené hodnoty se zpracují pomocí vhodného programu pro vytvoření křivek svítivosti (Matlab).[34]



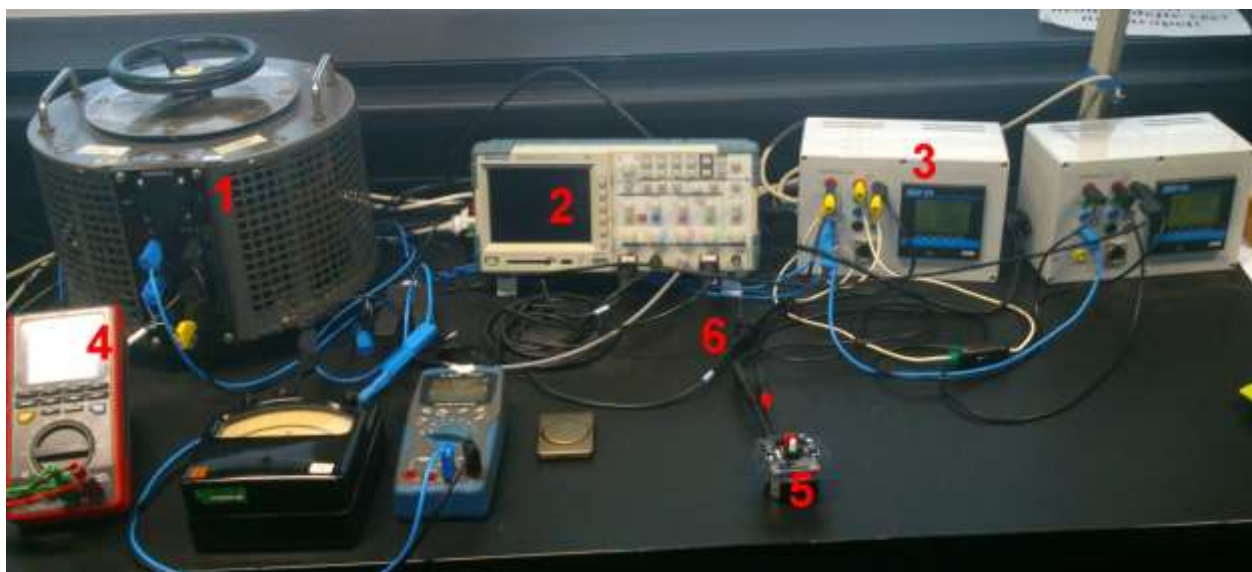
Obrázek 25: Ukázka programu AvaSoft[34]

5.2 Laboratoř světelné techniky UEEN

Kompletní měření proběhlo v laboratoři světelné techniky na fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. Nově zrekonstruovaná laboratoř nabízí studentům ojedinělé možnosti laboratorní výuky v oblasti světelné a osvětlovací techniky. Vybavení laboratoře zahrnuje jak přístroje staršího typu (hranolový monochromátor) tak i nové moderní vybavení (spektrometry chromametry atd.) [34]

5.3 Měřicí sestava

Pro měřicí soustavu bylo použito zapojení pro úlohu „Provozní vlastnosti světelných zdrojů“, s potřebnou úpravou pro měření LED stmívatelných zdrojů. Měřicí sestava se obsahuje kulový integrátor, autotransformátor, osciloskop, stmívač, multimetr, síťový analyzátor (2x), a napětovou sondu (2x).



Osciloskop Tektronix TPS 2014 (2)

Digitální osciloskop s šířkou pásma až 200 MHz a vzorkovací frekvencí 2G/s řady 2000. Umožňuje měření s plovoucí zemí nebo diferenciální měření v řadě náročných aplikací. Barevný displej zajišťuje dostatečnou přehlednost měření. S kapacitou 4 izolovaných kanálů a přenosnou baterií umožňuje měření v terénu nebo kdekoli i bez dostupného napájecího napětí. Osciloskop dokáže zaznamenávat najednou až 2500 bodů.

Vysoko napěťová sonda P5120 (6)

Používá se pro snímání síťového napětí a napětí do 1000 V, pro měření na digitálním osciloskopu. Bezpečné řešení vysokonapěťové sondy, která při spojení s digitálním osciloskopem TPS řady 2000 zajišťuje, jak izolaci při měření napětí proti zemi, tak i dostatečnou izolaci mezi jednotlivými kanály. Dokáže bezpečně a přesně zachytit informace i ze složitějších napěťových systémů. [30]

Síťový analyzátor SMP 44 (3)

Univerzální analyzátor kvality Vhodný pro komplexní měření energetické bilance a vyhodnocování kvality elektrické energie. Dokáže provádět nepřetržité měření elektrických parametrů v každém důležitém uzlu sítě. Přístroj disponuje širokou škálou komunikačních rozhraní (USB, ethernetový port ...). Splňuje požadavky normy IEC EN 61000-4-30.[29]

Multimetr UT81A (4)

Digitální multimetr s vlastním osciloskopem. Zajišťuje měření základních elektrických veličin (AC/DC proud, AC/DC napětí, odpor, kapacitu, kmitočet). Napájení z baterie umožňuje i terénní měření.

Stmívač ABB 6523 U-102-500 (5)

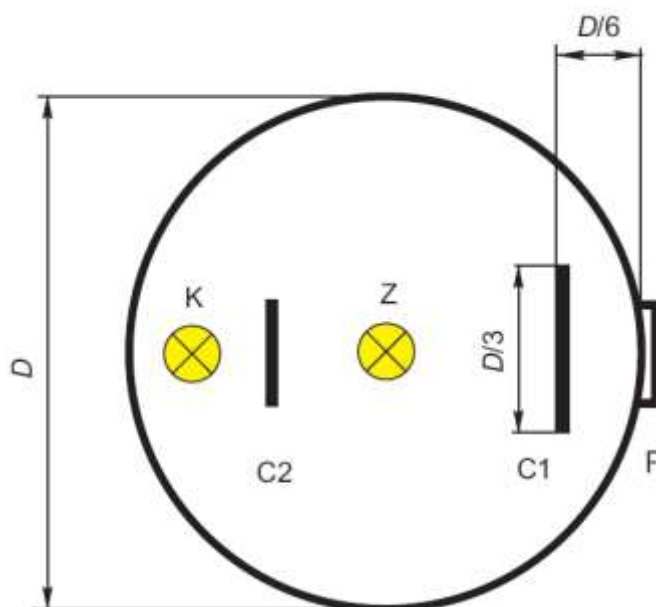
Stmívač typu 6523 U-102-500 slouží k regulování jasu stmívatelných světelných zdrojů (LED, halogenové nebo klasické žárovky). Přístroj pracuje na principu fázové regulace. Podle typu zátěže můžeme nastavit ořezávání půlplyny na náběžné hraně (induktivní charakter zátěže) nebo na sestupné hraně (kapacitní nebo ohmický charakter).

Autotransformátor RA10 (1)

Autotransformátor se v laboratorním prostředí nejčastěji používá jako regulovatelný zdroj střídavého napětí. Výhodou oproti klasickému transformátoru je v menší hmotnosti jádra a vinutí při stejném výkonu. Parametry daného autotransformátoru ($V=0-250$, $A=8-10A$, $S=2,5kVA$).

Kulový integrátor

Kulový integrátor je univerzální zařízení pro měření parametrů světelných zdrojů. Konstrukčně je kulový integrátor dutá koule, uvnitř koule se při měření nachází pouze měřený zdroj, fotočlánek a korekční svítidlo. Důležitým prvkem je bílý nátěr uvnitř kulového integrátoru. Nátěr musí být barevně neselektivní, činitel odrazu by měl být v rozmezí 0,75-0,85. Vhodné jsou odstíny titanové zinkové nebo barytové bílé.



Obrázek 26: Vnitřní uspořádání kulového integrátoru[31]

Při umísťování zdroje do kulového integrátoru je důležité, aby měřený zdroj byl umístěn do středu integrátoru. Clona C1 odděluje fotočlánek od měřeného zdroje a zabraňuje přímému dopadu vyzařovaného světla na detektor. Clonka C1, která brání přímému dopadu světla na fotočlánek má mít průměr asi $D/3$ a její vzdálenost od výstupního okénka má být $D/6$. Musí být kruhového tvaru s povrchovou úpravou.

stejnou jako vnitřní stěna integrátoru. Clona C2 zabraňuje přímému dopadu vyzařovaného světla korekčním svítidlem na měřený zdroj nebo na fotočlánek. Korekční zdroj by měl být umístěn co nejbližší povrchu koule a zároveň na opačné straně než je fotočlánek.

Princip měření je založen na mnohonásobném odrazení světla od vnitřních stěn kulového integrátoru. Za tokového předpokladu je dopadající záření odraženo do všech bodů povrchu koule, a teoretická výsledná osvětlenost je ve všech vnitřních bodech koule stejná. Výsledný světelný tok je dán sečtením dopadajícího světelného toku a odraženého toku od stěn koule.

$$\Phi = \Phi_z \cdot \rho + \Phi_z \cdot \rho^2 + \Phi_z \cdot \rho^3 + \dots + \Phi_z \cdot \rho^n = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \Phi_z \quad (lm)$$

Na měřicí čidlo dopadají pouze odražené světelné toky, proto osvětlenost a světelný tok vyplývá ze vztahu:

$$E = \frac{\Phi}{\pi \cdot D^2} = \frac{\rho}{(\rho - 1) \cdot \pi \cdot D^2} \cdot \Phi_z = k_i \cdot \Phi_z \quad (lx; lm, m; m, lm; lm)$$

Protože různé činitele pohlcení a rozměry měřeného zdroje a normálu mohou způsobit odchylky naměřených hodnot, je možné měření korigovat doplňkovým měřením s pomocným (korekčním) světelným zdrojem. Světelný tok měřeného zdroje je pak dán následujícím vztahem.

$$\Phi_z = \Phi_n \cdot \frac{Y_z}{Y_n} \cdot \frac{Y_{hn}}{Y_{hz}}$$

Kde : Y_z ...je naměřená hodnota měřeného zdroje

Y_n ...je naměřená hodnota normálu

Y_{hn} .. je naměřená hodnota pro korekční světelný zdroj, kdy je osazen zhasnutý normál

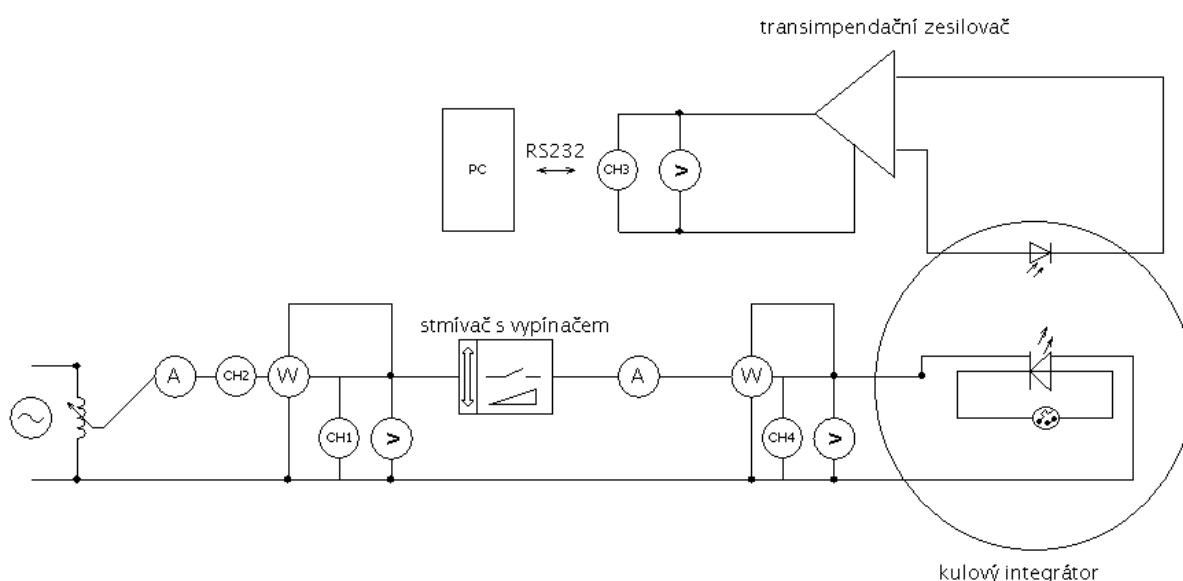
Y_{hz} .. je naměřená hodnota pro pomocný světelný zdroj, kdy je osazen zhasnutý měřený světelný zdroj

Měření začíná zapojením referenčního zdroje a změřením jeho fotoproudu, až poté se vloží měřený zdroj a měření se opakuje. Z naměřených hodnot obou zdrojů můžeme určit zářivý i světelný tok a dále vypočítat energetickou účinnost, měrný výkon, spektrální charakteristiku.[31],[32]

5.4 Vlastní měření

Z časových důvodů proběhlo pouze měření provozních vlastností LED světelných zdrojů.

5.4.1 Schéma zapojení



Obrázek 27: Schéma zapojení

5.4.2 Naměřené hodnoty

LED Superstar classic A 60 Advanced

Parametry : Jmenovitý příkon : 10 W

Jmenovité napětí : 220..240 V

Provozní frekvence : 50..60 Hz

Účinník : 0,90

Fotometrické údaje : Jmenovitý světelný tok : 810 lm

Teplota chromatičnosti : 6500 K

Index podání barev Ra : 80

Barva světla : denní světlo



Další údaje: Patice : E27

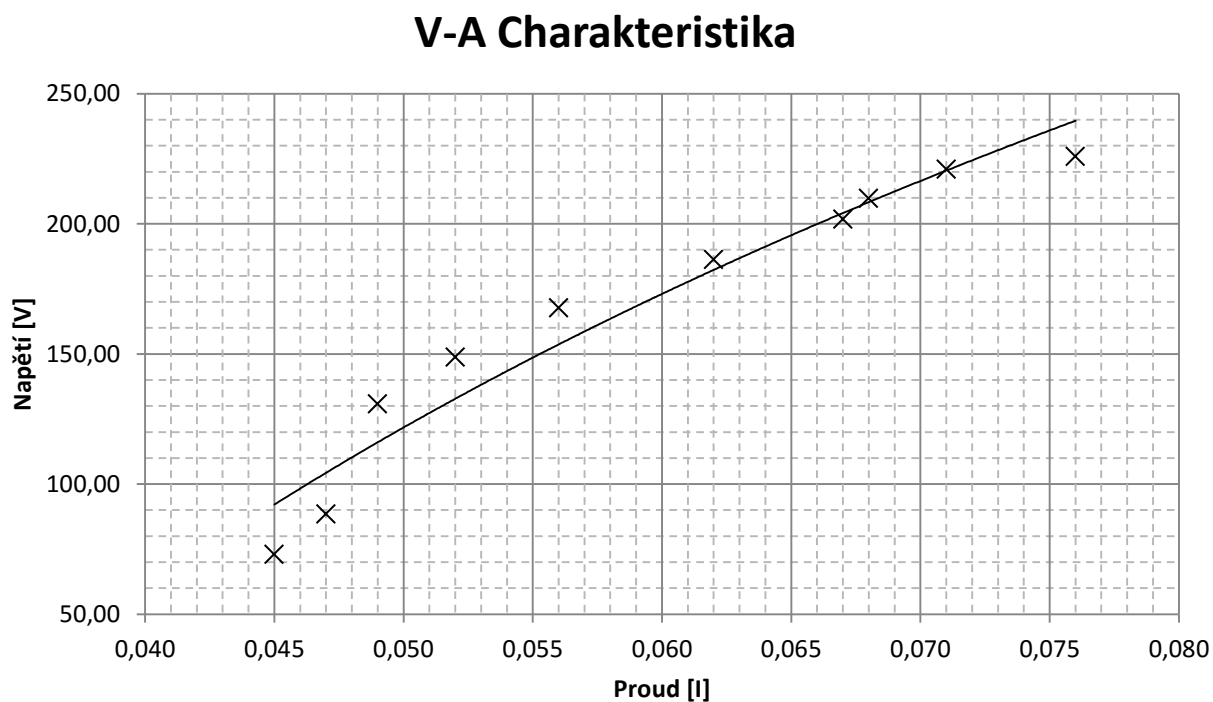
Náhrada za klasickou žárovku : 60W

Možnost regulace světelného toku : 14-94%

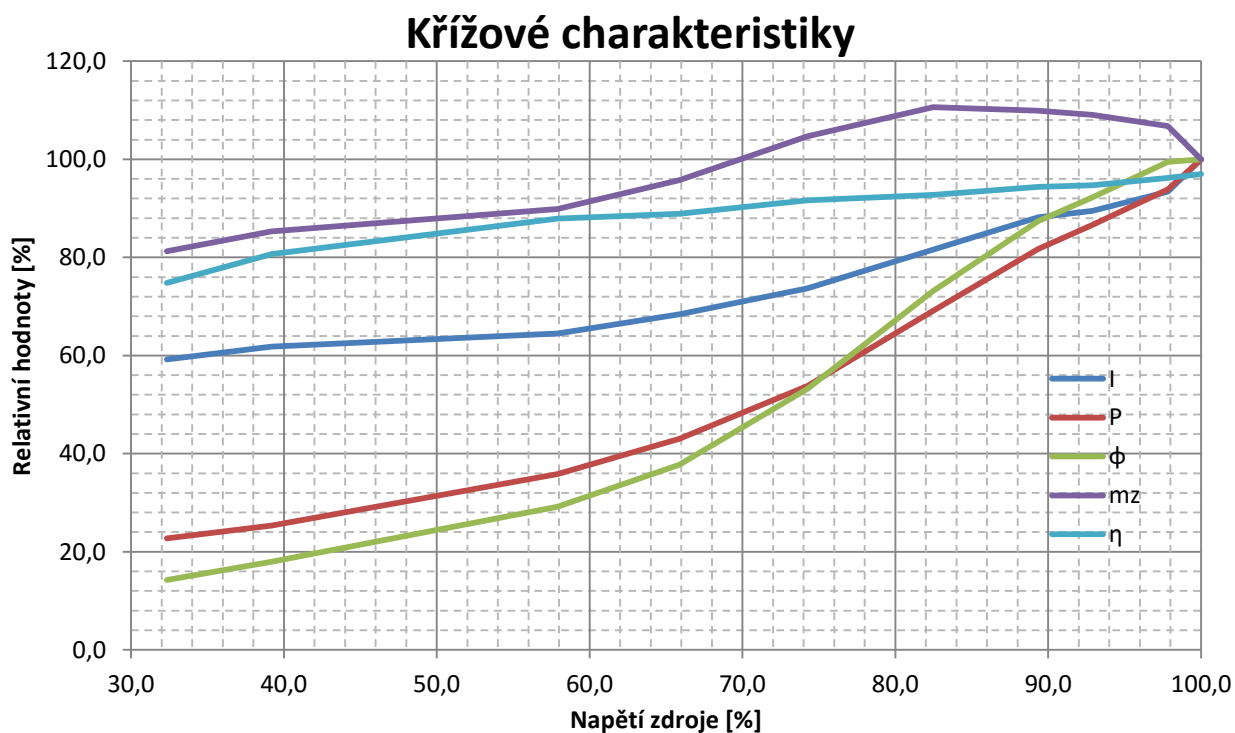
Obrázek 28: LED Superstar classic A 60 Advanced

Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro LED Superstar classic A 60 Advanced

U _{nap}	U _{zdroje}		P _{zdroje}	Q _{zdroje}	I _{zdroje}		P _{celk}	
[V]	[V]	[%]	[W]	[Var]	[A]	[%]	[W]	[%]
230,40	73,05	32,3	2,59	0,04	0,045	59,2	3,46	22,7
230,50	88,52	39,2	3,11	0,06	0,047	61,8	3,85	25,3
230,40	130,80	57,9	4,79	0,11	0,049	64,5	5,45	35,8
230,50	148,80	65,9	5,81	0,13	0,052	68,4	6,54	43,0
230,20	167,70	74,2	7,49	0,02	0,056	73,7	8,18	53,8
230,20	186,30	82,5	9,75	-1,98	0,062	81,6	10,51	69,1
230,20	201,80	89,3	11,73	-2,98	0,067	88,2	12,43	81,7
230,10	209,80	92,9	12,47	-3,19	0,068	89,5	13,17	86,6
230,10	221,00	97,8	13,74	-3,17	0,071	93,4	14,28	93,9
230,30	225,90	100,0	14,75	-2,34	0,076	100,0	15,21	100,0
Q _{celk}	U _{int.}	φ		P _{stmívače}	m _z		η	úroveň regulace
[Var]	[V]	[lm]	[%]	[W]	[lm/W]	[%]	[%]	%
-6,41	0,26	115,41	14,3	0,87	44,60	81,3	74,80	13,47
-6,68	0,33	145,33	18,0	0,75	46,81	85,3	80,65	16,96
-7,21	0,54	236,28	29,2	0,66	49,32	89,9	87,91	27,57
-7,41	0,69	305,36	37,7	0,73	52,54	95,8	88,87	35,63
-7,54	0,98	430,32	53,2	0,69	57,42	104,7	91,61	50,21
-7,42	1,35	591,80	73,1	0,76	60,70	110,6	92,77	69,05
-6,81	1,61	707,08	87,4	0,70	60,28	109,9	94,37	82,49
-6,41	1,70	746,24	92,2	0,70	59,84	109,1	94,68	87,06
-5,05	1,83	804,76	99,5	0,54	58,57	106,8	96,22	93,89
-3,29	1,84	809,16	100,0	0,46	54,86	100,0	96,98	94,40



Obrázek 29: V-A charakteristika LED světelného zdroje při regulaci jasu LED Superstar classicc A 60 Advanced



Obrázek 30: Křížové charakteristiky pro LED Superstar classicc A 60 Advanced

LED Parathom classic B 40 Advanced**Parametry :** Jmenovitý příkon : 5,4 W

Jmenovité napětí : 220..240 V

Provozní frekvence : 50..60 Hz

Účinník : >0.50

Fotometrické údaje : Jmenovitý světelný tok : 470 lm

Teplota chromatičnosti : 2700 K

Index podání barev Ra : 80

Barva světla : teplá bílá

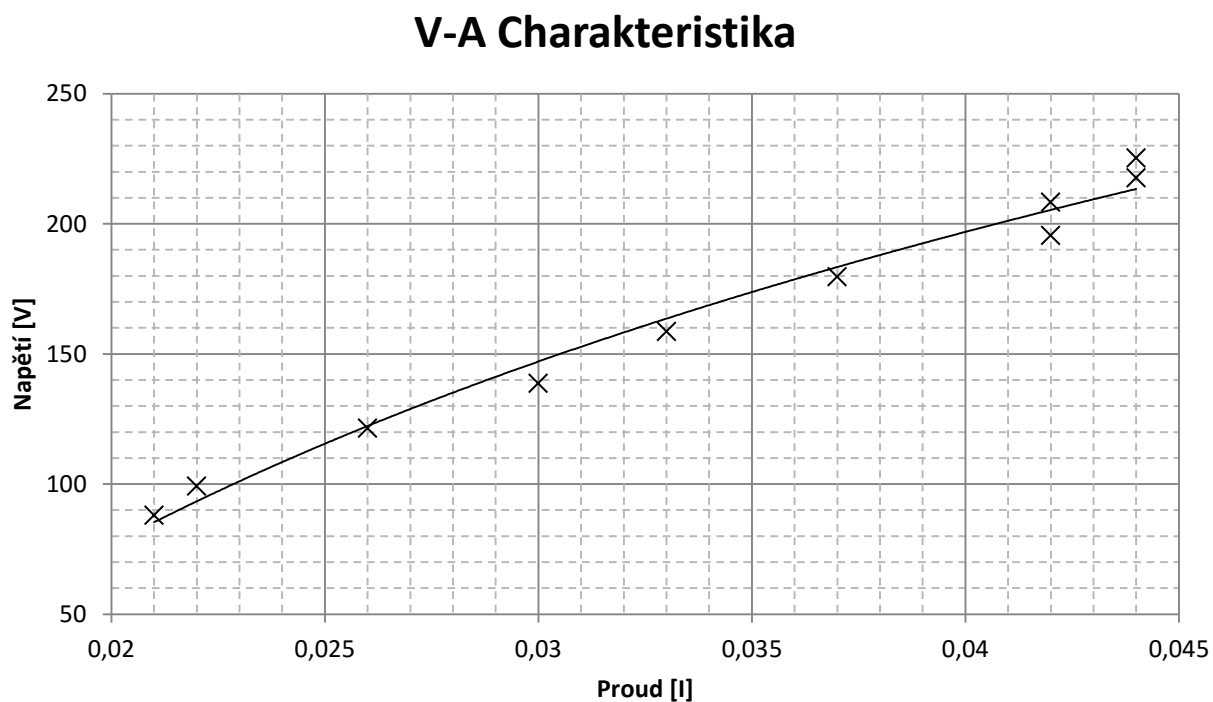
**Další údaje:** Patice : E14

Náhrada za klasickou žárovku : 40W

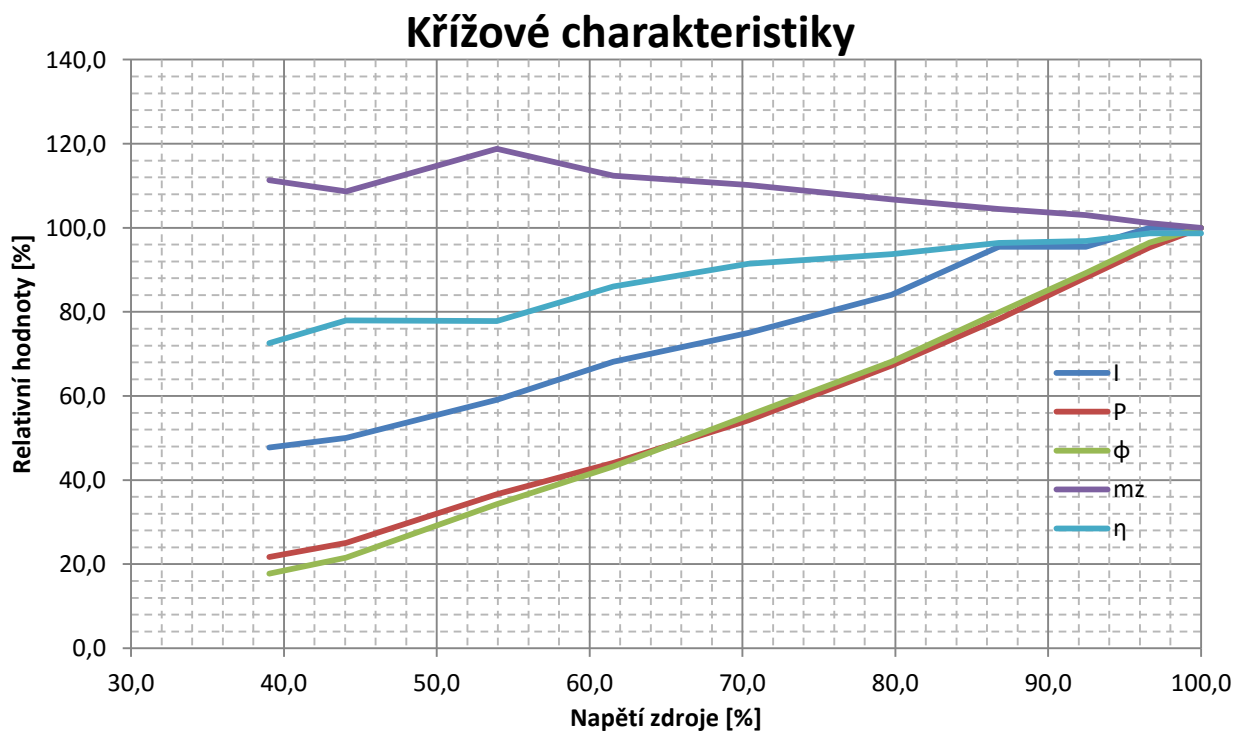
Možnost regulace světelného toku : 17-94%

*Obrázek 31: LED Parathom classic B40Advanced**Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro LED Parathom classic B40 Advanced*

U _{nap}	U _{zdroje}		P _{zdroje}	Q _{zdroje}	I _{zdroje}		P _{celk}	
[V]	[V]	[%]	[W]	[Var]	[A]	[%]	[W]	[%]
229,8	87,98	39,1	1,521	0,103	0,021	47,7	2,095	21,7
229,9	99,27	44,1	1,891	0,119	0,022	50,0	2,424	25,1
230,1	121,5	53,9	2,752	0,128	0,026	59,1	3,536	36,6
230,2	138,7	61,6	3,669	0,017	0,03	68,2	4,262	44,1
230,1	158,6	70,4	4,788	-0,218	0,033	75,0	5,237	54,2
230,3	179,7	79,8	6,087	-0,801	0,037	84,1	6,493	67,2
230	195,5	86,8	7,288	-1,427	0,042	95,5	7,562	78,3
230,2	208,3	92,5	8,251	-1,86	0,042	95,5	8,521	88,2
230,3	217,7	96,6	9,091	-2,212	0,044	100,0	9,21	95,3
229,9	225,3	100,0	9,53	-2,36	0,044	100,0	9,66	100,0
Q _{celk}	U _{int.}	φ		P _{stmívače}	m _z		η	úroveň regulace
[Var]	[V]	[lm]	[%]	[W]	[lm/W]	[%]	[%]	%
-2,901	0,2061	90,684	17,8	0,57	59,62	111,3	72,60	16,76
-3,143	0,2502	110,088	21,6	0,53	58,22	108,7	78,01	20,34
-3,524	0,398	175,12	34,3	0,78	63,63	118,8	77,83	32,36
-4,189	0,502	220,88	43,3	0,59	60,20	112,4	86,09	40,81
-4,46	0,642	282,48	55,3	0,45	59,00	110,2	91,43	52,20
-4,528	0,791	348,04	68,2	0,41	57,18	106,8	93,75	64,31
-4,344	0,927	407,88	79,9	0,27	55,97	104,5	96,38	75,37
-4,021	1,035	455,4	89,2	0,27	55,19	103,1	96,83	84,15
-3,61	1,119	492,36	96,5	0,12	54,16	101,1	98,71	90,98
-0,299	1,16	510,4	100,0	0,13	53,56	100,0	98,65	94,31



Obrázek 32: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom classic B40 Advanced



Obrázek 33: Křížové charakteristiky pro LED Parathom classic B40 Advanced

LED Parathom Classic P 40 Advanced**Parametry :** Jmenovitý příkon : 6 W

Jmenovité napětí : 220..240 V

Provozní frekvence : 50..60 Hz

Účinník : >0.50

Fotometrické údaje : Jmenovitý světelný tok : 470 lm

Teplota chromatičnosti : 2700 K

Index podání barev Ra : 80

Barva světla : teplá bílá

Další údaje: Patice :E 27

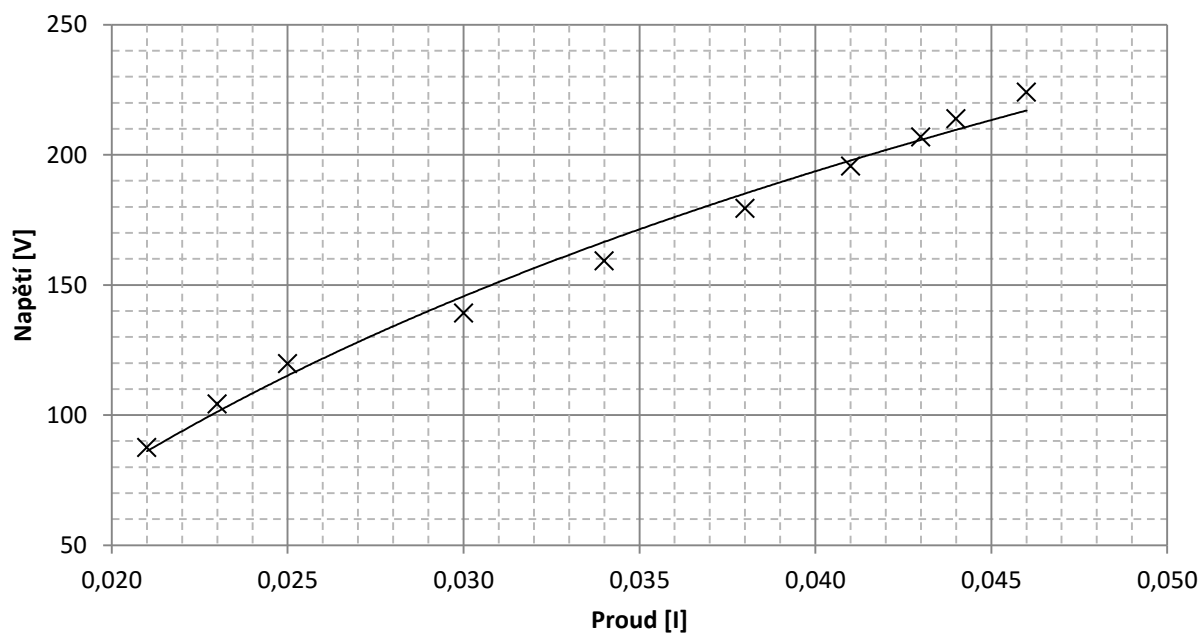
Náhrada za klasickou žárovku : 40W

Možnost regulace světelného toku : 17-96%

*Obrázek 34:LED Parathom classic P40 Advanced**Tabulka 6:Naměřené hodnoty pro LED Parathom classic P40 Advanced*

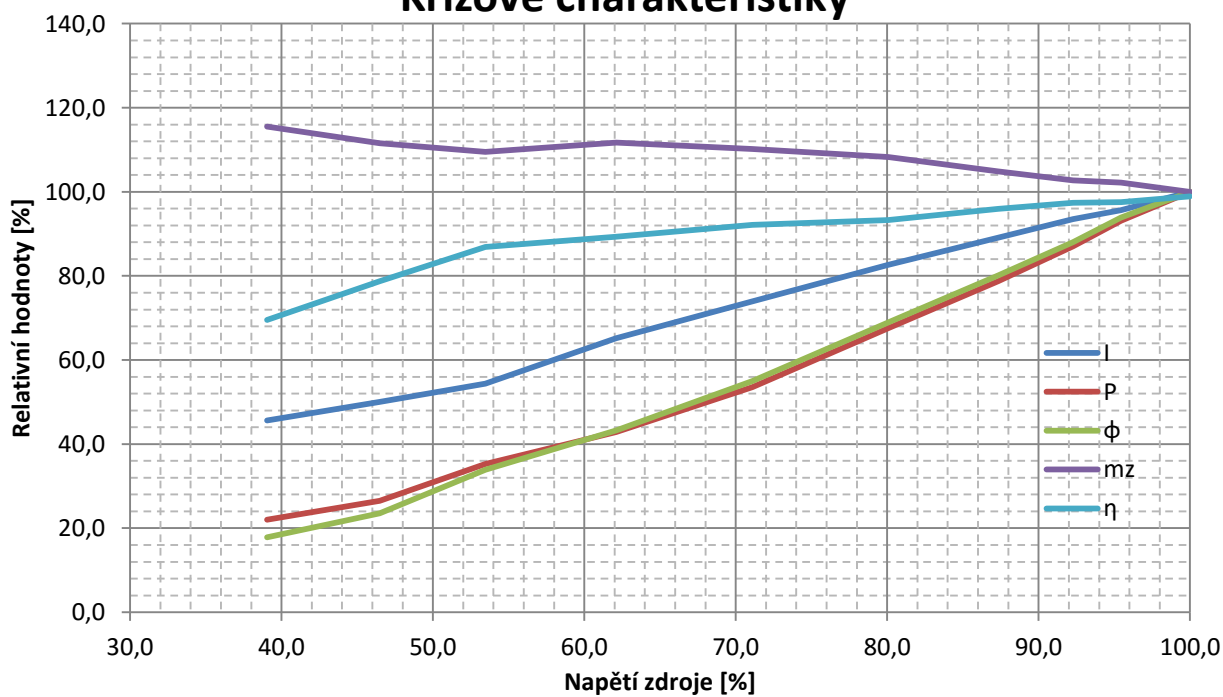
U _{nap}	U _{zdroje}		P _{zdroje}	Q _{zdroje}	I _{zdroje}		P _{celk}	
[V]	[V]	[%]	[W]	[Var]	[A]	[%]	[W]	[%]
230,1	87,52	39,1	1,509	0,097	0,021	45,7	2,17	22,0
230,3	104,2	46,5	2,062	0,12	0,023	50,0	2,619	26,5
230,2	119,8	53,5	3,021	0,019	0,025	54,3	3,478	35,2
230,1	139,2	62,1	3,782	0,028	0,030	65,2	4,235	42,9
230,5	159,3	71,1	4,867	-0,215	0,034	73,9	5,282	53,5
230,1	179,4	80,1	6,217	-0,766	0,038	82,6	6,664	67,5
230,6	195,7	87,3	7,452	-1,442	0,041	89,1	7,768	78,7
230,1	206,8	92,3	8,365	-1,815	0,043	93,5	8,588	87,0
230,1	213,9	95,4	8,967	-2,085	0,044	95,7	9,19	93,1
230,2	224,1	100,0	9,76	-2,38	0,046	100,0	9,87	100,0
Q _{celk}	U _{int.}	Φ		P _{stmívače}	m _z		η	úroveň regulace
[Var]	[V]	[lm]	[%]	[W]	[lm/W]	[%]	[%]	%
-3,003	0,1927	84,788	17,9	0,66	56,19	115,5	69,54	17,1
-3,224	0,2543	111,892	23,6	0,56	54,26	111,6	78,73	22,6
-3,817	0,3657	160,908	33,9	0,46	53,26	109,5	86,86	32,5
-4,231	0,467	205,48	43,3	0,45	54,33	111,7	89,30	41,5
-4,517	0,593	260,92	55,0	0,42	53,61	110,2	92,14	52,7
-4,615	0,744	327,36	69,0	0,45	52,66	108,2	93,29	66,1
-4,409	0,864	380,16	80,1	0,32	51,01	104,9	95,93	76,8
-4,184	0,95	418	88,0	0,22	49,97	102,7	97,40	84,4
-3,87	1,013	445,72	93,9	0,22	49,71	102,2	97,57	90,0
-3,12	1,079	474,76	100,0	0,11	48,64	100,0	98,89	95,9

V-A Charakteristika



Obrázek 35: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom classic P40 Advanced

Křížové charakteristiky



Obrázek 36: Křížové charakteristiky pro LED Parathom classic P40 Advanced

LED Parathom Classic P 40 Advanced frosted**Parametry :** Jmenovitý příkon : 4 W

Jmenovité napětí : 220..240 V

Provozní frekvence : 50..60 Hz

Účinnost : >0.50

Fotometrické údaje : Jmenovitý světelný tok : 470 lm

Teplota chromatičnosti : 2700 K

Index podání barev Ra : 80

Barva světla : teplá bílá

**Další údaje:** Patice : 14

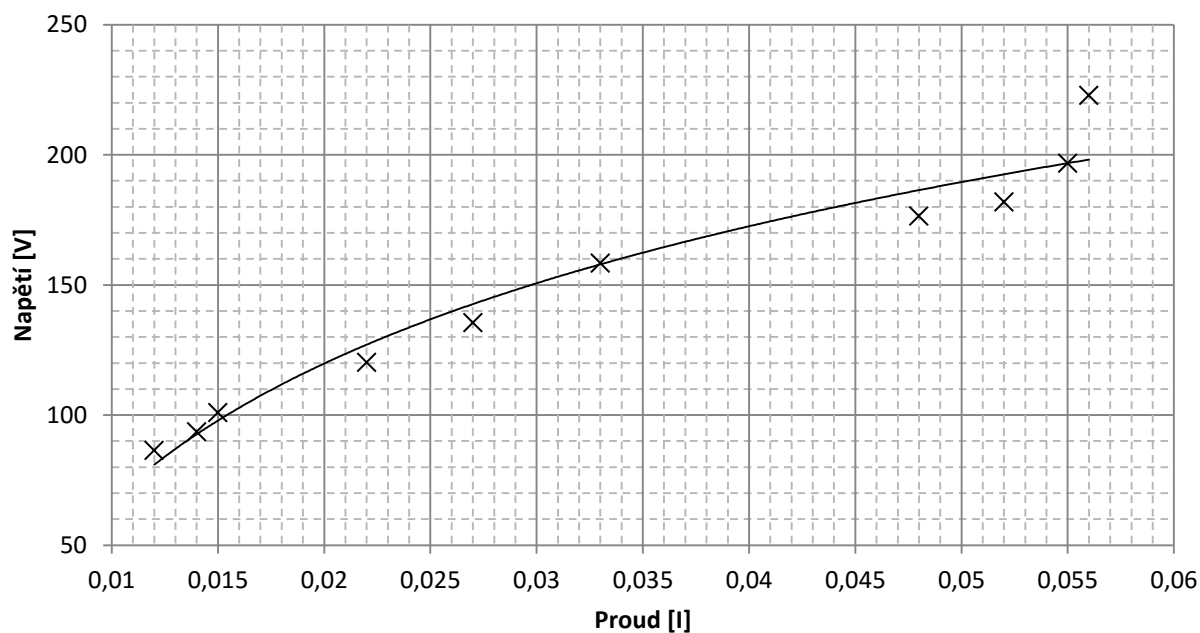
Náhrada za klasickou žárovku : 40W

Možnost regulace světelného toku : 4-98%

*Obrázek 37: LED Parathom classic P 40 Advanced frosted**Tabulka 7: Naměřené hodnoty pro LED Parathom classic P 40 Advanced frosted*

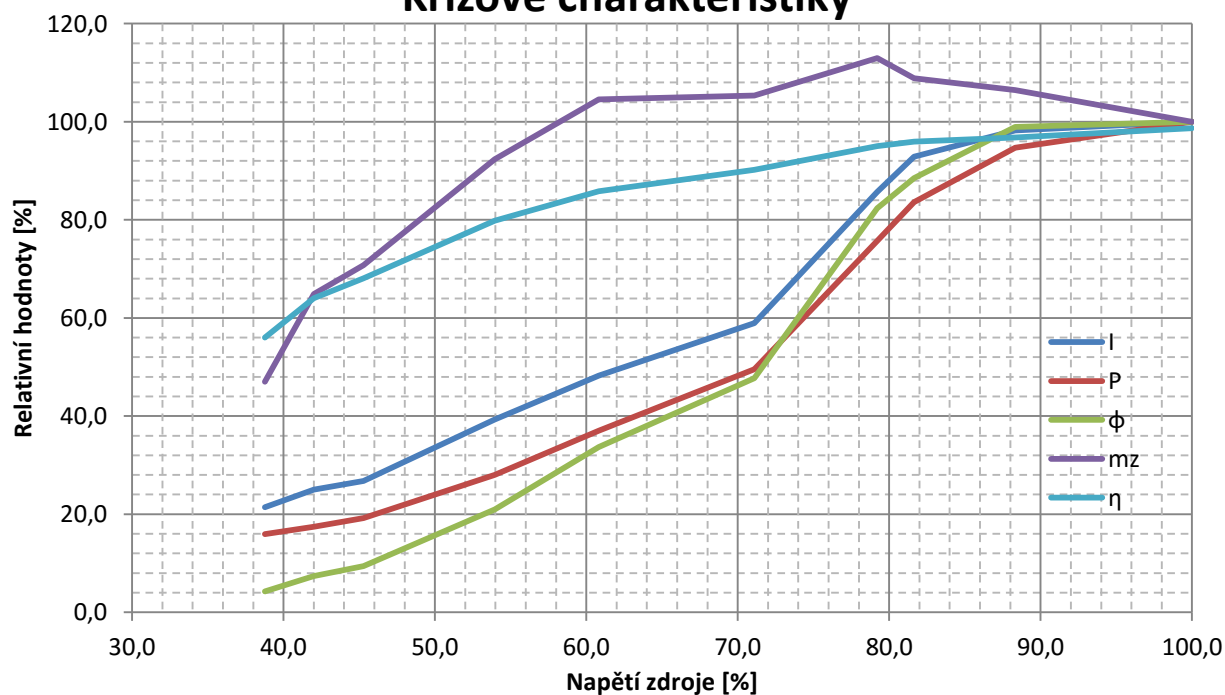
U _{nap}	U _{zdroje}		P _{zdroje}	Q _{zdroje}	I _{zdroje}		P _{celk}	
[V]	[V]	[%]	[W]	[Var]	[A]	[%]	[W]	[%]
230,1	86,39	38,8	0,883	0,085	0,012	21,4	1,576	16,0
230,2	93,58	42,0	1,105	0,096	0,014	25,0	1,725	17,5
229,6	100,9	45,3	1,292	0,102	0,015	26,8	1,897	19,2
229,8	120,2	53,9	2,211	0,102	0,022	39,3	2,769	28,0
230,4	135,5	60,8	3,138	0,104	0,027	48,2	3,656	37,0
230,3	158,4	71,1	4,414	0,047	0,033	58,9	4,892	49,5
230,4	176,5	79,2	7,109	-0,103	0,048	85,7	7,48	75,7
230,2	181,9	81,6	7,924	-0,156	0,052	92,9	8,26	83,6
230,4	196,8	88,3	9,06	-0,33	0,055	98,2	9,36	94,7
230	222,8	100,0	9,75	-2,09	0,056	100,0	9,88	100,0
Q _{celk}	U _{int.}	φ		P _{stmívače}	m _z	η		úroveň regulace
[Var]	[V]	[lm]	[%]	[W]	[lm/W]	[%]	[%]	%
-1,273	0,0525	23,1	4,3	0,69	26,16	47,0	56,03	4,18
-1,343	0,0907	39,908	7,4	0,62	36,12	64,9	64,06	7,23
-1,443	0,1156	50,864	9,4	0,61	39,37	70,8	68,11	9,21
-1,878	0,2582	113,608	20,9	0,56	51,38	92,3	79,85	20,57
-2,086	0,415	182,6	33,7	0,52	58,19	104,6	85,83	33,07
-2,362	0,588	258,72	47,7	0,48	58,61	105,3	90,23	46,85
-3,69	1,016	447,04	82,4	0,37	62,88	113,0	95,04	80,96
-3,98	1,091	480,04	88,5	0,34	60,58	108,9	95,93	86,93
-4,21	1,22	536,8	98,9	0,30	59,25	106,5	96,79	97,21
-3,5	1,233	542,52	100,0	0,13	55,64	100,0	98,68	98,25

V-A Charakteristika



Obrázek 38: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom classic P 40 Advanced frosted

Křížové charakteristiky



Obrázek 39: Křížové charakteristiky pro LED Parathom classic P 40 Advanced frosted

LED Parathom PAR16 50 36°**Parametry :** Jmenovitý příkon : 5,3W

Jmenovité napětí : 220..240 V

Provozní frekvence : 50..60 Hz

Účinník : >0.60

Fotometrické údaje : Jmenovitý světelný tok : 350 lm

Teplota chromatičnosti : 2700 K

Index podání barev Ra : 80

Barva světla : teplá bílá

Svítivost: 850 cd

**Další údaje:** Patice : GU10

Náhrada za klasickou žárovku : 50W

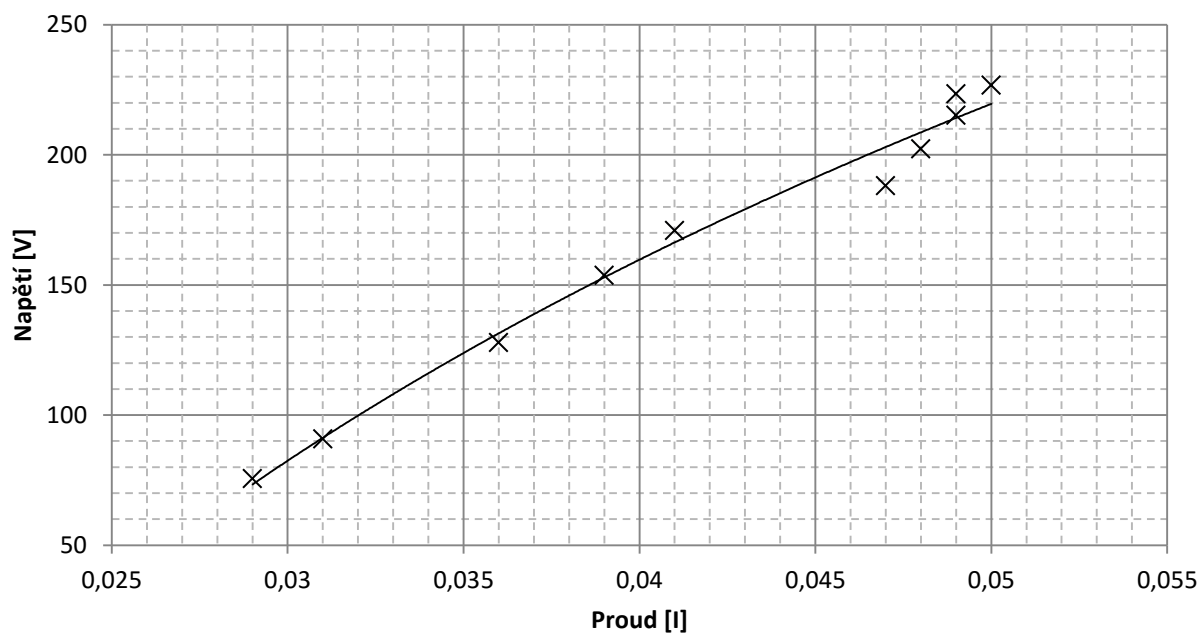
Možnost regulace světelného toku : 15-93%

Obrázek 40: LED Parathom PAR16 50 36°

Tabulka 8: Naměřené hodnoty pro LED Parathom PAR16 50 36°

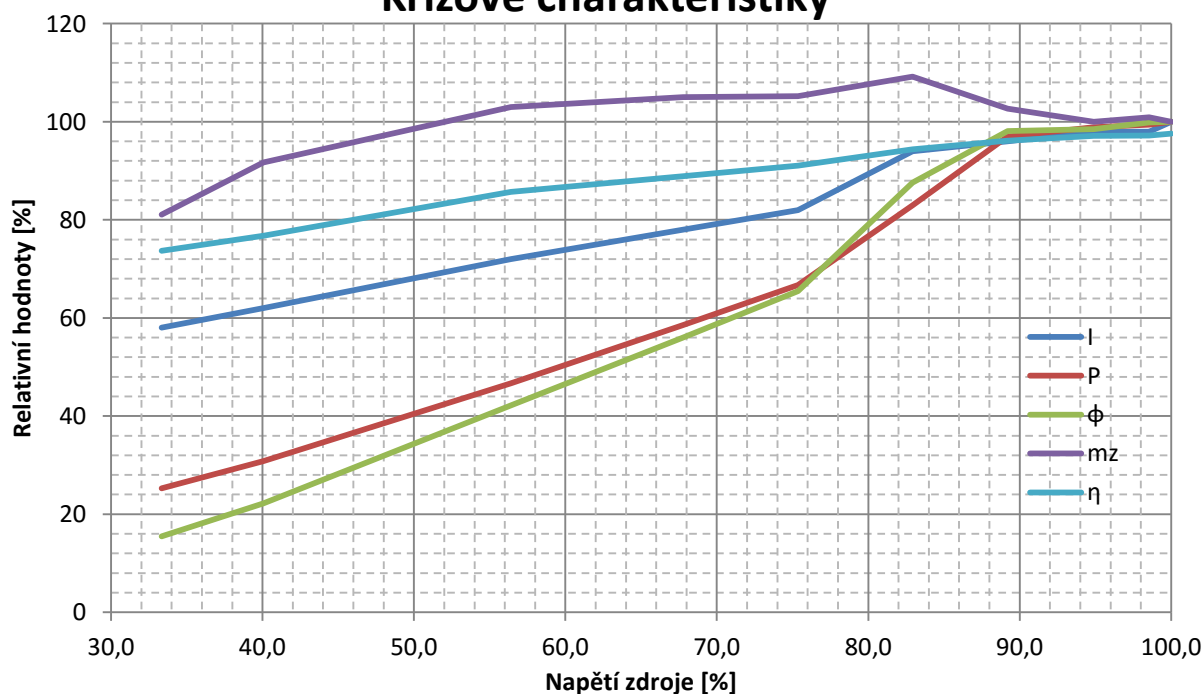
U _{nap}	U _{zdroje}		P _{zdroje}	Q _{zdroje}	I _{zdroje}		P _{celk}	
[V]	[V]	[%]	[W]	[Var]	[A]	[%]	[W]	[%]
230,1	75,61	33,3	1,848	0,063	0,029	58	2,508	25,3
230,4	90,84	40,1	2,346	0,092	0,031	62	3,057	30,8
229,7	127,9	56,4	3,965	0,151	0,036	72	4,628	46,7
230,4	153,7	67,8	5,162	0,152	0,039	78	5,807	58,5
230,4	170,9	75,4	6,023	-0,223	0,041	82	6,617	66,7
230,4	188,1	82,9	7,765	-1,394	0,047	94	8,23	83,0
230,5	202,3	89,2	9,25	-1,98	0,048	96	9,62	97,0
230,3	215,2	94,9	9,53	-2,72	0,049	98	9,81	98,9
229,7	223,5	98,5	9,58	-3,3	0,049	98	9,86	99,4
230,3	226,8	100,0	9,68	-3,38	0,05	100	9,92	100,0
Q _{celk}	U _{int.}	φ		P _{stmívače}	m _z		η	úroveň regulace
[Var]	[V]	[lm]	[%]	[W]	[lm/W]	[%]	[%]	%
-4,135	0,121	53,24	15,5	0,66	28,81	81,0	73,68	14,46
-4,533	0,1738	76,472	22,2	0,71	32,60	91,7	76,74	20,76
-5,197	0,33	145,2	42,2	0,66	36,62	103,0	85,67	39,43
-5,375	0,438	192,72	56,0	0,65	37,33	105,0	88,89	52,33
-5,321	0,512	225,28	65,5	0,59	37,40	105,2	91,02	61,17
-5,41	0,685	301,4	87,6	0,47	38,82	109,2	94,35	81,84
-5,27	0,767	337,48	98,1	0,37	36,48	102,6	96,15	91,64
-4,88	0,77	338,8	98,5	0,28	35,55	100,0	97,15	92,00
-4,38	0,781	343,64	99,9	0,28	35,87	100,9	97,16	93,31
-4,14	0,782	344,08	100,0	0,24	35,55	100,0	97,58	93,43

V-A Charakteristika



Obrázek 41: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom PAR16 50 36°

Křížové charakteristiky



Obrázek 42: Křížové charakteristiky pro LED Parathom PAR16 50 36°

LED Parathom PRO PAR16 35 36°**Parametry :** Jmenovitý příkon : 5,2 W

Jmenovité napětí : 220..240 V

Provozní frekvence : 50..60 Hz

Účinník : >0.75

Fotometrické údaje : Jmenovitý světelný tok : 230 lm

Teplota chromatičnosti : 2700 K

Index podání barev Ra : 90

Barva světla : teplá bílá

Svítivost: 600 cd

Další údaje: Patice : GU10

Náhrada za klasickou žárovku : 35W

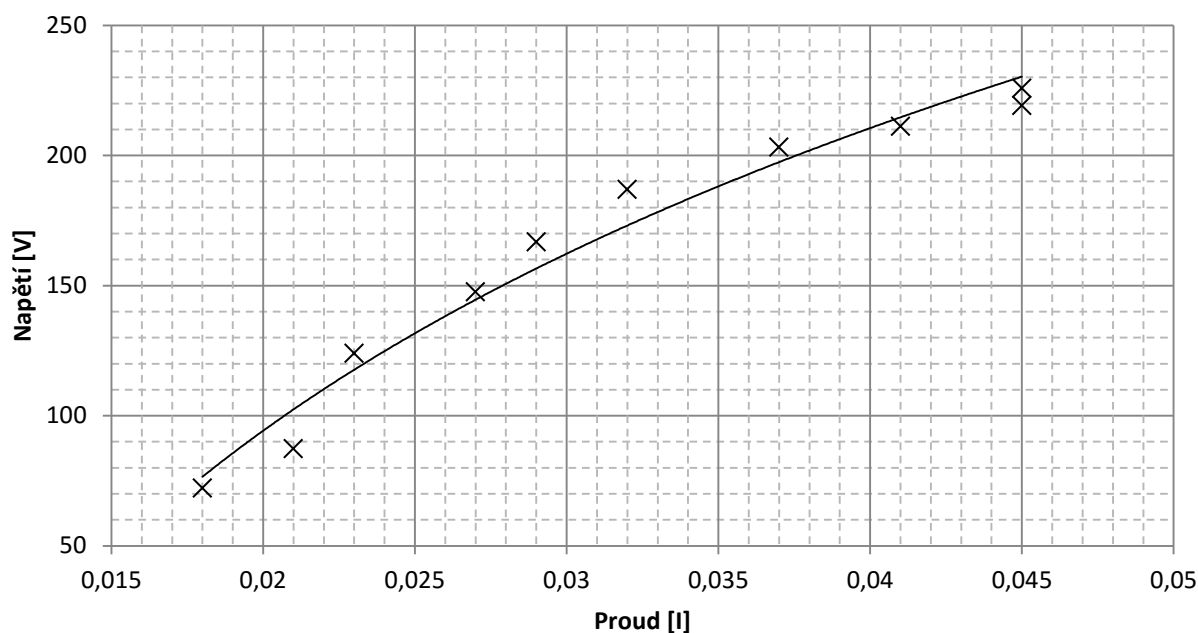
Možnost regulace světelného toku : 9-97%

*Obrázek 43: LED Parathom PRO PAR16 35 36°*

Tabulka 9: Naměřené hodnoty pro LED Parathom PRO PAR16 35 36°

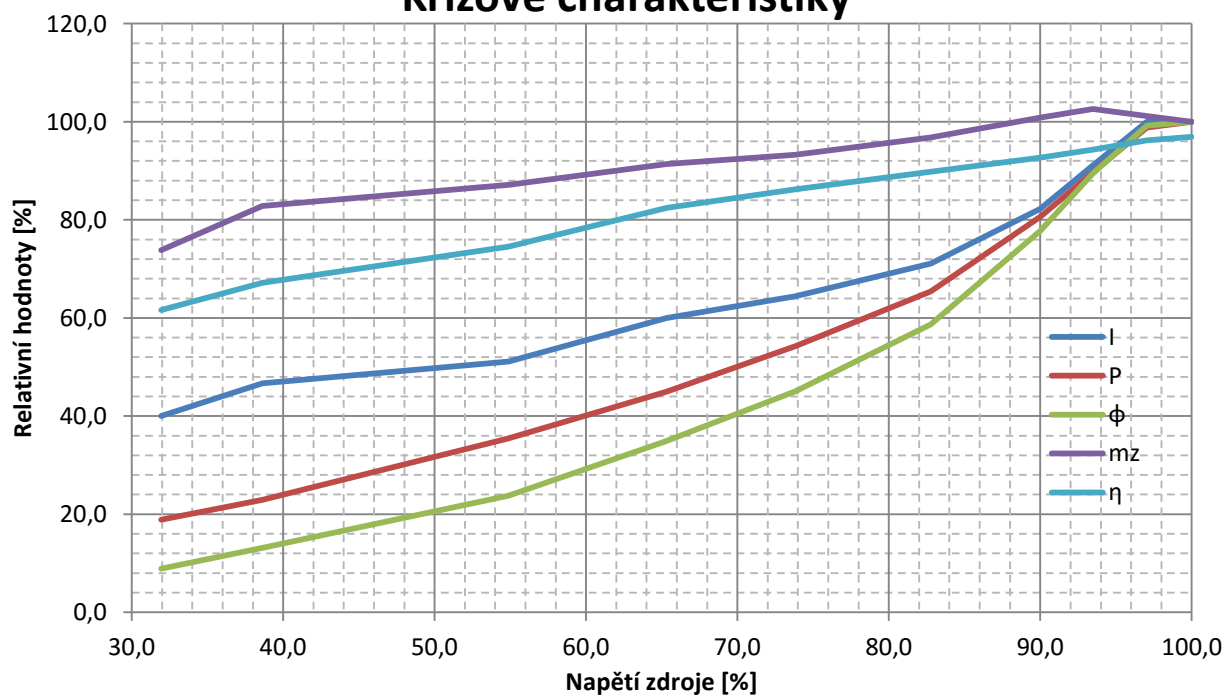
U _{nap}	U _{zdroje}		P _{zdroje}	Q _{zdroje}	I _{zdroje}		P _{celk}	
[V]	[V]	[%]	[W]	[Var]	[A]	[%]	[W]	[%]
230,1	72,14	31,9	1,056	0,064	0,018	40,0	1,713	18,9
230,2	87,23	38,6	1,395	0,081	0,021	46,7	2,077	22,9
230	123,9	54,9	2,398	0,135	0,023	51,1	3,217	35,5
230,3	147,5	65,3	3,362	0,165	0,027	60,0	4,079	45,0
229,8	166,7	73,8	4,242	0,155	0,029	64,4	4,918	54,2
230,1	186,9	82,8	5,329	-0,556	0,032	71,1	5,935	65,4
230,3	203,2	90,0	6,776	-0,648	0,037	82,2	7,311	80,6
230,2	211,1	93,5	7,668	-0,701	0,041	91,1	8,132	89,7
230,2	219,1	97,0	8,62	-0,73	0,045	100,0	8,96	98,8
230	225,8	100,0	8,79	-0,83	0,045	100,0	9,07	100,0
Q _{celk}	U _{int.}	φ		P _{stmívače}	m _z		η	úroveň regulace
[Var]	[V]	[lm]	[%]	[W]	[lm/W]	[%]	[%]	%
-2,367	0,0558	24,552	8,9	0,66	23,25	73,8	61,65	8,65
-2,559	0,0827	36,388	13,1	0,68	26,08	82,8	67,16	12,82
-2,837	0,1495	65,78	23,8	0,82	27,43	87,1	74,54	23,18
-2,936	0,2198	96,712	34,9	0,72	28,77	91,4	82,42	34,08
-2,851	0,2832	124,608	45,0	0,68	29,37	93,3	86,25	43,91
-2,718	0,3692	162,448	58,7	0,61	30,48	96,8	89,79	57,24
-2,649	0,489	215,16	77,7	0,54	31,75	100,8	92,68	75,81
-2,618	0,563	247,72	89,5	0,46	32,31	102,6	94,29	87,29
-2,51	0,624	274,56	99,2	0,34	31,85	101,2	96,21	96,74
-2,18	0,629	276,76	100,0	0,28	31,49	100,0	96,91	97,52

V-A Charakteristika



Obrázek 44: V-A charakteristika světelného zdroje při regulaci jasu LED Parathom PRO PAR16 35 36°

Křížové charakteristiky



Obrázek 45: Křížové charakteristiky pro LED Parathom PRO PAR16 35 36°

Nanoleaf**Parametry :** Jmenovitý příkon : 10 W

Jmenovité napětí : 220..240 V

Provozní frekvence : 50..60 Hz

Fotometrické údaje : Jmenovitý světelný tok : 1100 lm

Teplota chromatičnosti : 3000 K

Index podání barev Ra : 80

Další údaje: Patice : E27

Náhrada za klasickou žárovku : 75W

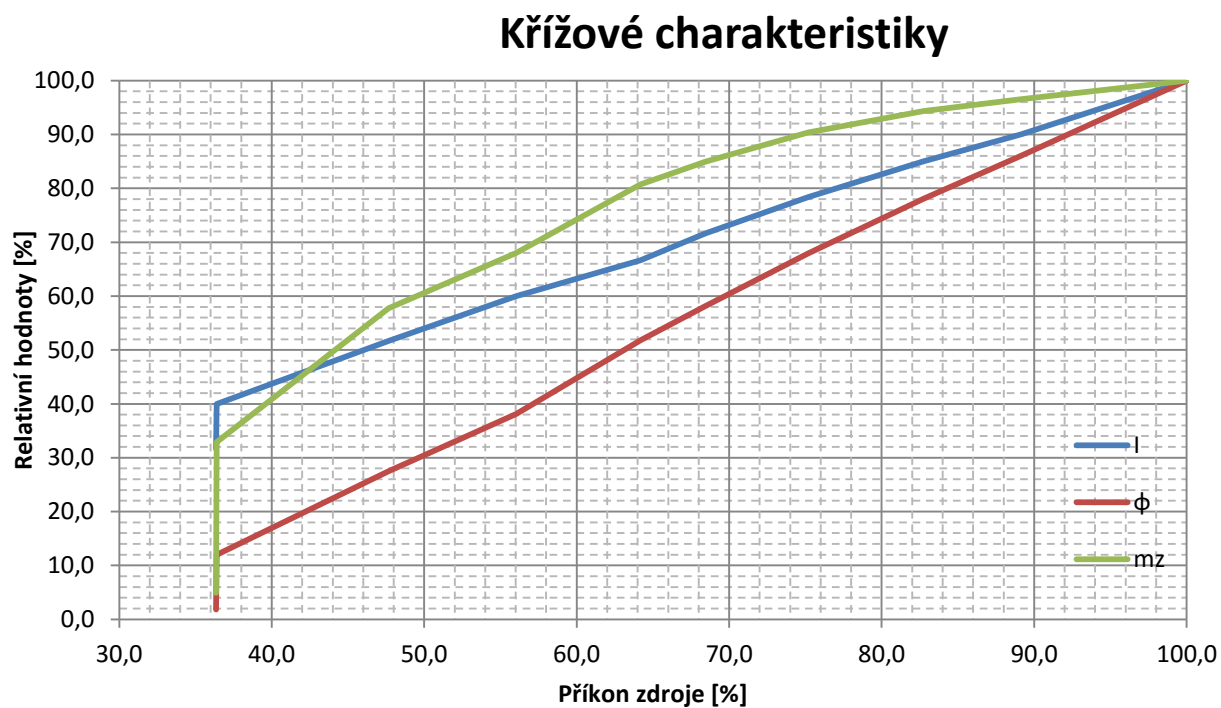
Možnost regulace světelného toku : 2-100%

Obrázek 46: LED Nanoleaf



Tabulka 10: Naměřené hodnoty pro Nanoleaf

U _{nap}	U _{zdroje}	P _{zdroje}		Q _{zdroje}	I _{zdroje}	
[V]	[V]	[W]	[%]	[Var]	[A]	[%]
230,1	230,2	4,947	36,3	-1,402	0,019	31,7
229,8	230	4,953	36,4	-1,983	0,024	40,0
230	230,1	6,487	47,7	-2,738	0,031	51,7
229,8	230	7,626	56,0	-2,881	0,036	60,0
230	230,2	8,736	64,2	-3,02	0,04	66,7
229,8	230	9,315	68,4	-2,981	0,043	71,7
230	230,2	10,23	75,2	-2,97	0,047	78,3
229,7	229,9	11,26	82,7	-2,94	0,051	85,0
230,1	230,2	12,13	89,1	-2,95	0,054	90,0
229,8	229,7	13,61	100	-3,01	0,06	100,0
U _{int.}	ϕ		m _z		úroveň regulace	
	[V]	[lm]	[%]	[lm/W]	[%]	
	0,0447	19,67	1,8	3,98	4,9	
	0,2982	131,21	12,0	26,49	32,9	
	0,685	301,40	27,5	46,46	57,7	
	0,949	417,56	38,1	54,75	68,0	
	1,29	567,60	51,8	64,97	80,7	
	1,448	637,12	58,2	68,40	85,0	
	1,691	744,04	67,9	72,73	90,3	
	1,943	854,92	78,0	75,93	94,3	
	2,142	942,48	86,0	77,70	96,5	
	2,49	1095,60	100,0	80,50	100,0	



Obrázek 47: Křížové charakteristiky pro Nanoleaf

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo měření a vyhodnocení provozních parametrů LED stmívatelných zdrojů. Pro měření byl vedoucím práce předložen LED světelný zdroj Nanoleaf od firmy ON Semiconductor, který nepotřebuje žádný předřadný prvek pro řízené stmívání. Dále byly firmou Osram zaslány různé vzorky LED stmívatelných světelných zdrojů. Firma ABB zaslala 2 druhy stmívačů pro LED žárovky, které pracují na principu fázové regulace. Pro měření byl vybrán jen typ 6523 U-102-500 z důvodů ovládání otočným potenciometrem, který byl vhodnější pro nastavení určité hodnoty. Tento typ stmívače nebyl firmou Osram uveden pro regulaci jasu předložených LED světelných zdrojů

Pro LED světelný zdroj Superstar classic 60 A Advanced byl stanoven rozsah regulace jasu 14-96%, maximální světelný tok byl naměřen 809,16 lm, což odpovídá hodnotě udávané výrobcem. Při měření byl překročen jmenovitý příkon o 4,75 W. Maximální hodnota měrného výkonu byla 60,7 lm/W, tato hodnota byla naměřena při úrovni regulace 60% a příkonu 9,75W, který odpovídá jmenovitému příkonu.

Pro LED světelný zdroj Parathom classic B40 Advanced byl stanoven rozsah regulace jasu 17-94%, maximální světelný tok byl naměřen 510 lm, tato hodnota přesahuje hodnotu udávanou výrobcem z důvodu zahoření zdroje. Při měření byl překročen jmenovitý příkon téměř dvojnásobně. Maximální hodnota měrného výkonu byla 63,63 lm/W, tato hodnota byla naměřena při úrovni regulace 36,6% a příkonu 2,75W, který odpovídá polovině jmenovitému příkonu.

Pro LED světelný zdroj Parathom classic P40 Advanced byl stanoven rozsah regulace jasu 17-96%, maximální světelný tok byl naměřen 474,76 lm, tato hodnota přesahuje hodnotu udávanou výrobcem z důvodu zahoření zdroje. Při měření příkon dosáhl hodnoty 9,76 W. Maximální hodnota měrného výkonu byla 56,19lm/W, tato hodnota byla naměřena při úrovni regulace 17% a příkonu 1,5W.

Pro LED světelný zdroj Parathom classic P40 Advanced frosted byl stanoven rozsah regulace jasu 4-98%, maximální světelný tok byl naměřen 542,52 lm, tato hodnota přesahuje hodnotu udávanou výrobcem z důvodu zahoření zdroje. Při měření příkon dosáhl hodnoty 9,75 W. Maximální hodnota měrného výkonu byla 62,88 lm/W, tato hodnota byla naměřena při úrovni regulace 81% a příkonu 7,1W.

Pro LED světelný zdroj Parathom PAR16 35 36° byl stanoven rozsah regulace jasu 15-93%, maximální světelný tok byl naměřen 344,48 lm, tato hodnota odpovídá hodnotě udávanou výrobcem. Při měření příkon dosáhl hodnoty 9,68 W. Maximální hodnota měrného výkonu byla 38,82 lm/W, tato hodnota byla naměřena při úrovni regulace 82% a příkonu 7,765W.

Pro LED světelný zdroj Parathom PRO PAR16 35 36° byl stanoven rozsah regulace jasu 9-97%, maximální světelný tok byl naměřen 276,76 lm, tato hodnota přesahuje hodnotu udávanou výrobcem z důvodu zahoření zdroje. Při měření příkon dosáhl hodnoty 8,79 W. Maximální hodnota měrného výkonu byla 32,31 lm/W, tato hodnota byla naměřena při úrovni regulace 87% a příkonu 7,67W.

Pro LED světelný zdroj Nanoleaf byl stanoven rozsah regulace jasu 2-100%, rozsah regulace udávané výrobcem je 5-100%. Maximální světelný tok byl naměřen 1095,6 lm, tato hodnota odpovídá hodnotě udávanou výrobcem. Při měření příkon dosáhl hodnoty 13,61 W. Maximální hodnota měrného výkonu byla 80,5 lm/W, tato hodnota byla naměřena při úrovni regulace 100% a příkonu 13,61W.

Pro zdroje od firmy OSRAM byly vyneseny křížové charakteristiky vztažené na napětí světelného zdroje a V-A charakteristiky světelného zdroje při regulaci jasu. Pro světelný zdroj Nanoleaf byla křížová charakteristika vztažena na příkon světelného zdroje. Napětí světelného zdroje nebylo možno při mém zapojení změřit z důvodu absence stmívacího předřadníku, za kterým se napětí na zdroji měřilo. Ze stejného důvodu nebyla pro Nanoleaf vynesena V-A charakteristika.

Při regulaci jasu světelných zdrojů Parathom classic P40 Advanced, Parathom classic P40 Advanced frosted a Parathom classic B40 Advanced nastel nepříznivý jev. Při těchto světelných zdrojích byl rozsah regulace potenciometrem větší než rozsah fázové regulace stmívacího členu. Při snaze o překročení napájecího napětí začaly tyto zdroje blikat. Na osciloskopu bylo možno sledovat, že napětí na zdroji není větší než napájecí napětí, očekávaným jevem byl proto konstantní svit světelného zdroje se zachováním parametrů pro maximální hodnotu úrovně regulace.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SOLANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, et al. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] KREJČÍ, Ing. Antonín. *Vliv světla a ultrafialového záření na archivní zdroje* [online]. Národní archiv, 2009 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://web.nacr.cz/soubory/svetlo.pdf>
- [3] KÁCOVSKÝ, Petr. *Fyzweb* [online]. 2012 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: http://fyzweb.cz/materialy/kacovsky/fotometricke_veliciny.pdf
- [4] DRÁPELA, Ph.D. Ing. Jiří. *Užití elektrické energie: Světelné zdroje a osvětlení* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2013 [cit. 2016-01-21].
- [5] HABEL DRSC., Prof. Ing. Jiří a Ing. Petr ŽÁK PH.D. *Elektrické světlo* [online]. Praha: ČVUT, 2011 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni_materialy/es1/a5m15es1_final.pdf
- [6] NOVÁK, Ing. Ivo. *TZBInfo* [online]. 2015 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus>
- [7] NEVAŘILOVÁ, Ing. Ludmila. *Učíme v prostoru* [online]. 2014 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/dum/?page_id=2995
- [8] SOLANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, František DOSTÁL, Alena MUCHOVÁ, VORÁČEK, Luděk HLADKÝ a Zdislav ŽWAK. *Základy Základů světelné techniky* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_techiky.pdf
- [9] PETR, Baxant. *Světelná technika* [online]. Brno: VUT, 2008, 82 s. [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=24791
- [10] *Lightmaster* [online]. 2014 [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: <http://lightmaster.cz/led-technologie/>
- [11] *LEDvisio* [online]. 2016 [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: <http://www.led-visio.cz/technicke-informace/index-podani-barev-cri/>
- [12] ČERNÝ, František. *Svět IT* [online]. 2014 [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: <http://svet-it.blogspot.cz/2011/12/diody.htmlace/index-podani-barev-cri/>
- [13] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/265-fyzikalni-podstata-prechodu-pn>

- [14] *MyLMS* [online]. 2006 [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: <http://mylms.cz/text-10-prechod-pn-druhy-vodivosti-materialy-pro-polovodice/>
- [15] Víte jak funguje LED a OLED ? *Proelektrotechniky* [online]. 2013, (3) [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>
- [16] Světelné zdroje LED. *Giga Lighting* [online]. 2015 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/svetelne-zdroje-led.htm>
- [17] FRIML, Ing. Lubomír. Seriál LED osvětlení. *Afimo* [online]. 2013 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.afimocz.cz/serial-led-osvetleni-1-dil-technologie-led>
- [18] FRIML, Ing. Lubomír. Seriál LED osvětlení. *Afimo* [online]. 2013 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.afimocz.cz/serial-led-osvetleni-2-dil-chlazení-led/>
- [19] Konstrukce a návratnost osvětlovacích těles s technologiemi LED. *T-LED* [online]. 2012 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.t-led.cz/konstrukce-a-navratnost-osvetlovacich-teles-s-tech>
- [20] *Skrblik* [online]. 2012 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.skrblik.cz/rodina/domacnost/led-zarovky/>
- [21] *Omal* [online]. 2013 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.omal.cz/typy-a-znacenipatic>
- [22] Regulace jasu LED svítidel. *ERAM* [online]. 2013 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: http://www.eramcz.eu/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=71:regulace-led&catid=41:regdiod&Itemid=69
- [23] Jaké jsou možnosti stmívání LED světél. *Vývoj hw* [online]. 2012 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/jednoduche-stmivani-svetel.html>
- [24] *Výhody a Nevýhody světelných zdrojů* [online]. RENT, 2014 [cit. 2016-01-30]. Dostupné z: <http://www.rent.cz/clanky/detail/jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-klasicke-halogenove-uspore-a-led->
- [25] *V-Tac* [online]. 2015 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <http://v-tac.cz/content/10-barva-svetla-teplota-chromaticnosti>
- [26] ŽÁK, Ing. Petr. *TZB info* [online]. Praha: ČVUT, 2012 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/8343-vyvojove-tendence-ve-svetelných-zdrojích-a-svitidlech>

- [27] OSRAM. *Katalog* [online]. 2015 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/led-technologie/svetelne-zdroje/index.jsp
- [28] WERELLI. *Napájení LED sestav* [online]. 2012 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.wireliled.cz/aplikacni-poznamky/napajeni-led-sestav/>
- [29] KMB systems [online]. Liberec, 2011 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.kmb.cz/index.php/cs/archiv/en-50160-smp-a-smpq>
- [30] Vybavebí laboratoře. *Light laboratory brno* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/?section=equipments>
- [31] VYSOUDIL, Martin. FOTOMETRIE A SPEKTRORADIOMETRIE ZAPOUZDŘENÝCH LED ČIPŮ. Brno, 2012. Diplomová práce. VUT.
- [32] PAVELKA, Jiří. Vytvoření metodického postupu měření parametrů světelných zdrojů v kulovém integrátoru spolu s provedením vzorových měření pro vybrané světelné zdroje. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT.
- [33] Fotogalerie. *Light laboratory Brno* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/?section=galery>
- [34] Seznam úloh. *Light laboratory Brno* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/?section=tasks>
- [35] UHLÍŘ, Ivan. Elektrické obvody a elektronika. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 158 s. ISBN 978-80-01-03932-8.
- [36] DRÁBEK, Aleš Ing. AC COB LED čipy dobývají své místo na trhu. In: *Greenledex* [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://shop.greenledex.com/altrade/1-O-LED-TECHNOLOGIICH/4-Co-je-technologie-LED-AC-COB>
- [37] Zapojení PWM řízené sestavy RGB s více zdroji. In: *WIRELI* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://www.wireliled.cz/wp-content/uploads/2015/03/rozsahle_PWM_RGB_sestavy.pdf
- [38] PWM. *Tajned* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.tajned.cz/2015/06/pulzne-sirkova-modulace-pwm-2/>
- [39] Jaké jsou možnosti stmívání LED světél? *VývojHW* [online]. 2012 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/jednoduche-stmivani-svetel.html>
- [40] Protokol DMX512. In: *SOH* [online]. Praha, 2014 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.soh.cz/podpora/teorie>